

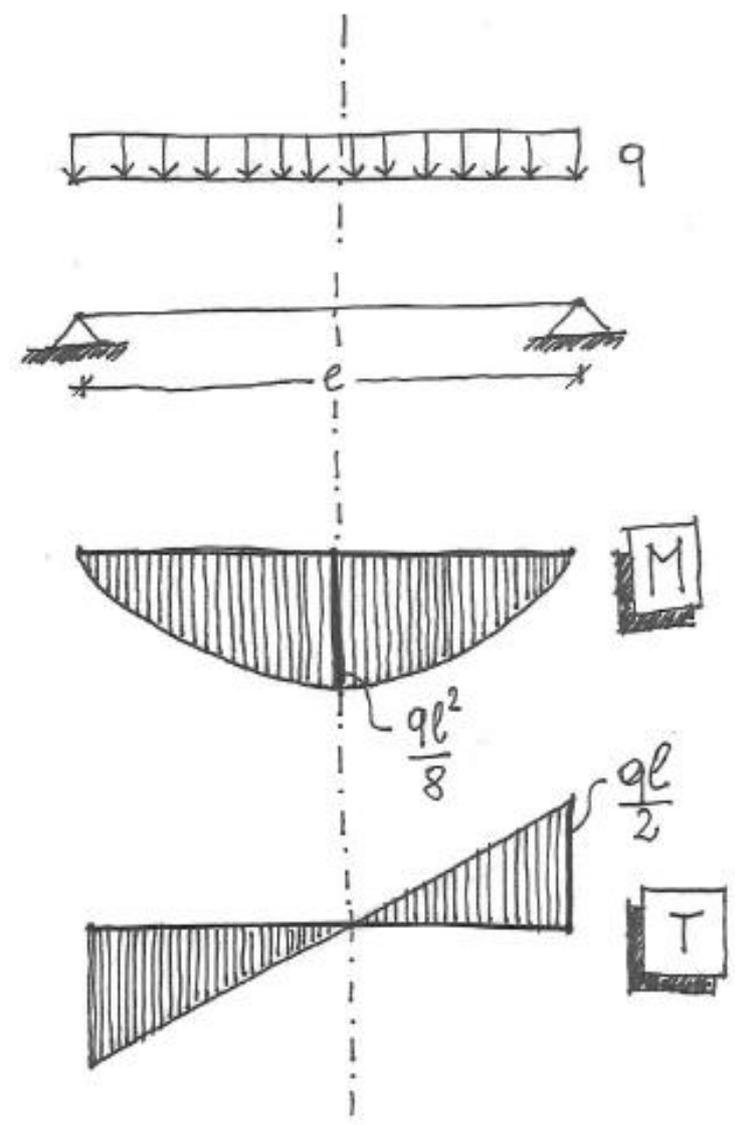
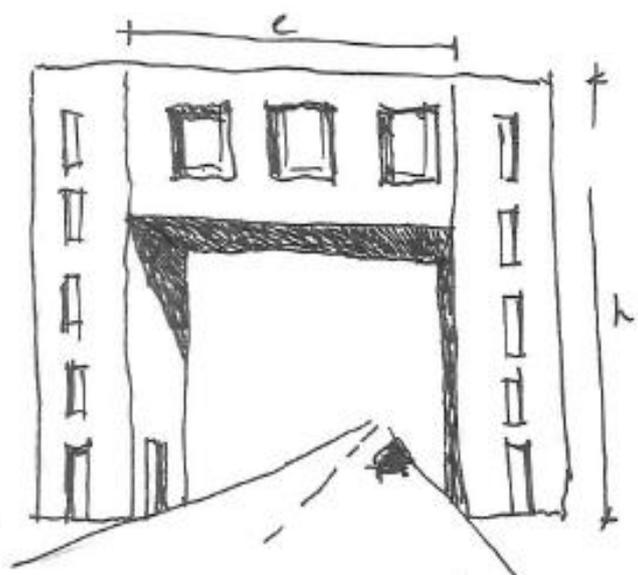
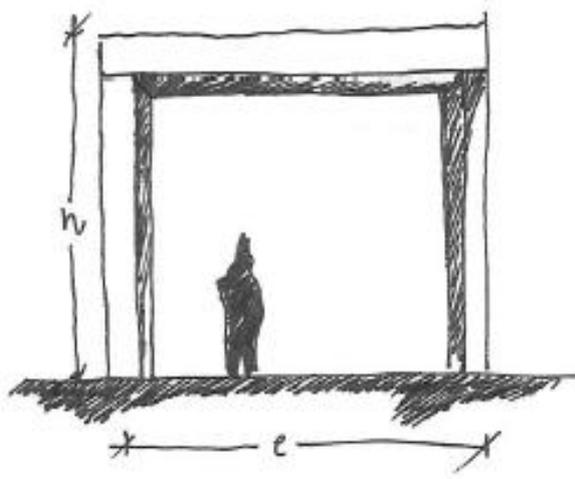
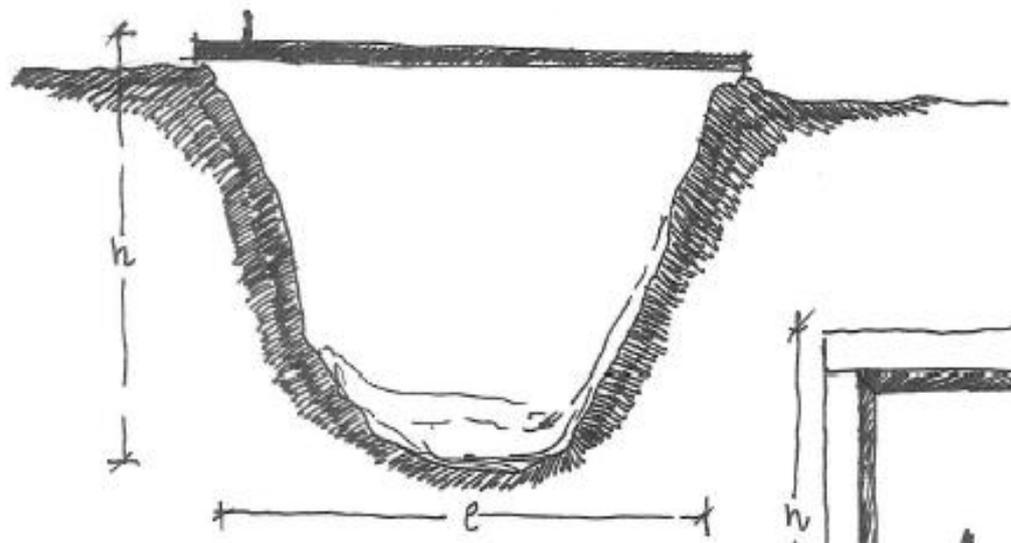
Ad astra per aspera:
a piccoli passi verso il progetto strutturale

Ginevra Salerno

Dipartimento di Architettura Roma Tre

Roma, 15 gennaio 2014

SUPERARE LUCI

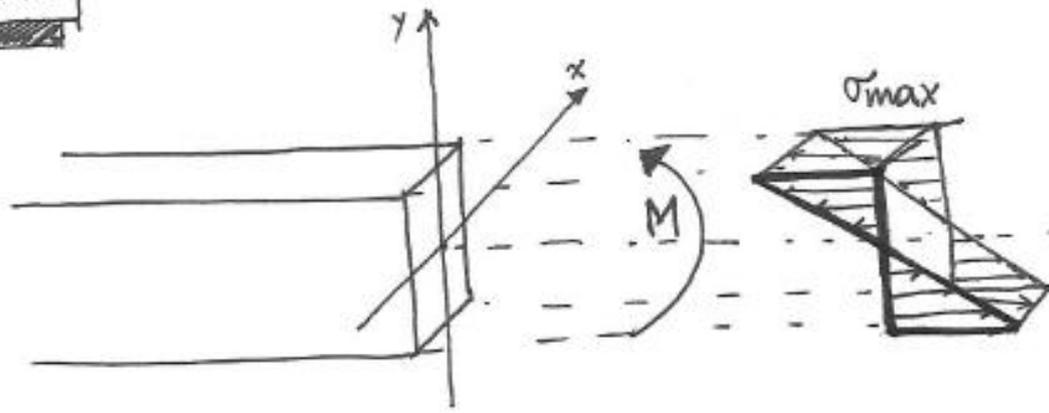


Commento alla prima slide

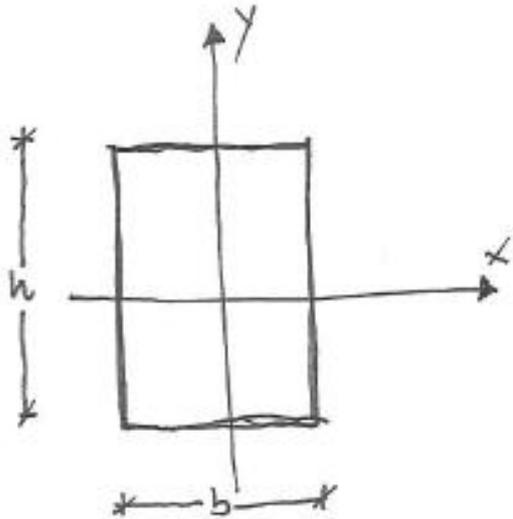
Quando ci troviamo di fronte ad una luce da superare per raggiungere una determinata posizione, o da coprire per costruire un tetto e delimitare un volume, la cosa più semplice da fare è porre un elemento orizzontale tra i due punti che dobbiamo collegare. Se l'elemento è a forma di prisma, stiamo creando una trave e su di essa possiamo disporre dei carichi, fissi o mobili che siano. Il prezzo scientifico che si paga per questa operazione è la nascita all'interno del materiale di forze interne che chiamiamo azioni di contatto o sollecitazioni.

In una trave, il modo concettualmente più semplice per immaginare queste forze interne è quello di individuare una sezione e ridurre nel centro geometrico di questa il sistema di forze che si trova a destra o a sinistra della sezione individuata. Avremo determinato la forza interna, nelle sue componenti di sforzo normale, taglio e momento flettente. In una trave che sia doppiamente appoggiata sui due appoggi, per coprire o superare una luce, nasce un momento flettente che per effetto di un carico costante, avrà sulla trave un andamento a forma di parabola. Nascerà anche un taglio, legato al momento da una equazione di equilibrio, che avrà un andamento lineare. Indipendentemente dal valore del carico q , che riuscirete a determinare tra qualche tempo, ciò che importa sapere è come dimensionare la trave affinché non si rompa per effetto di queste sollecitazioni, in particolare del momento massimo.

NAVIER



$$M = \frac{ql^2}{8}$$



$$\sigma = \frac{M}{I_x} y$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I_x} y_{\max} = \frac{M}{W_x}$$

$$W_{x\min} = \frac{1}{6} bh^2 = \frac{M}{\sigma_{\text{adm}}}$$

Per una sezione rettangolare:

$$I_x = \frac{1}{12} bh^3$$

$$W_x = \frac{1}{6} bh^2$$

$$W_{x\min} = \frac{M}{\sigma_{\text{adm}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{6M}{\sigma_{\text{adm}} \cdot b}}$$

$$h = \ell \sqrt{\frac{6q}{8 \cdot b \cdot \sigma_{\text{adm}}}}$$

$$h = \alpha \ell$$

Commento alla seconda slide

La teoria di Navier ci dimostra che per effetto del momento flettente in una sezione nasce una distribuzione lineare di tensioni perpendicolari al piano della sezione con un andamento a forma di farfalla, che si annullano nel centro della sezione e che dividono la sezione in due parti, la zona tesa e la zona compressa.

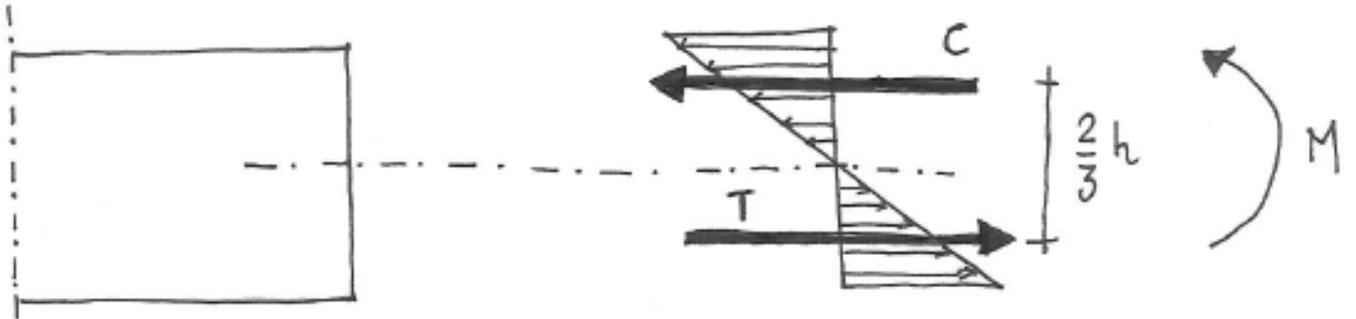
Proprio a causa di questo andamento, si deduce che le parti della sezione maggiormente sollecitate sono quelli più distanti dal centro della sezione medesima.

Nasce quindi il concetto di modulo di resistenza a flessione, definito come momento di inerzia diviso distanza massima dal centro della sezione medesima, ed esplicitando l'espressione del momento di inerzia e quella della distanza fra il centro e la fibra più sollecitata, si arriva all'espressione dell'altezza di progetto.

Sostituendo nella formula l'espressione del momento massimo, si ottiene infine una formula molto istruttiva, in cui intervengono vari parametri, ad esempio il materiale costituente ed il carico – che rappresenta la funzione dell'orizzontamento - , ma soprattutto la lunghezza, che è il parametro principale (non è sotto radice quadrata). Una trave di lunghezza doppia ha all'incirca una sezione di altezza doppia.

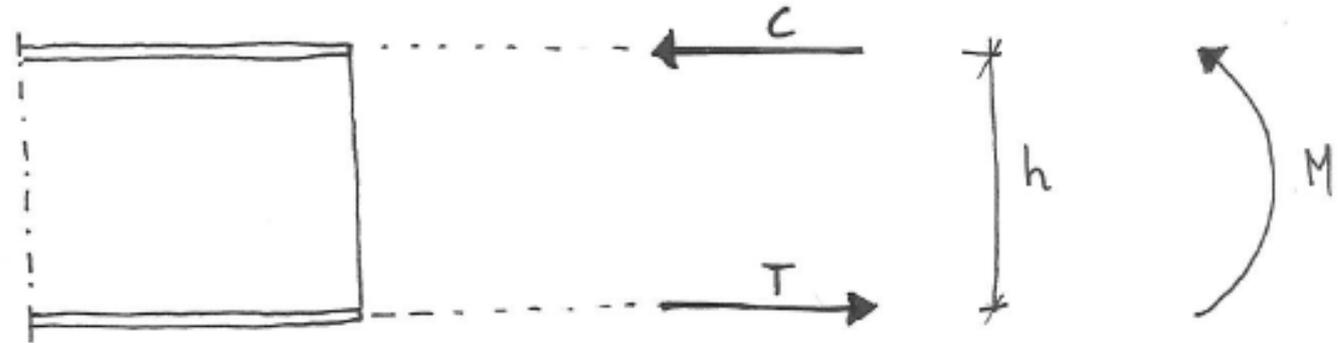
SEZIONI A CONFRONTO

SEZIONE
RETTANGOLARE
PIENA



$$M = \frac{2}{3}h \cdot C = \frac{2}{3}h \cdot T$$

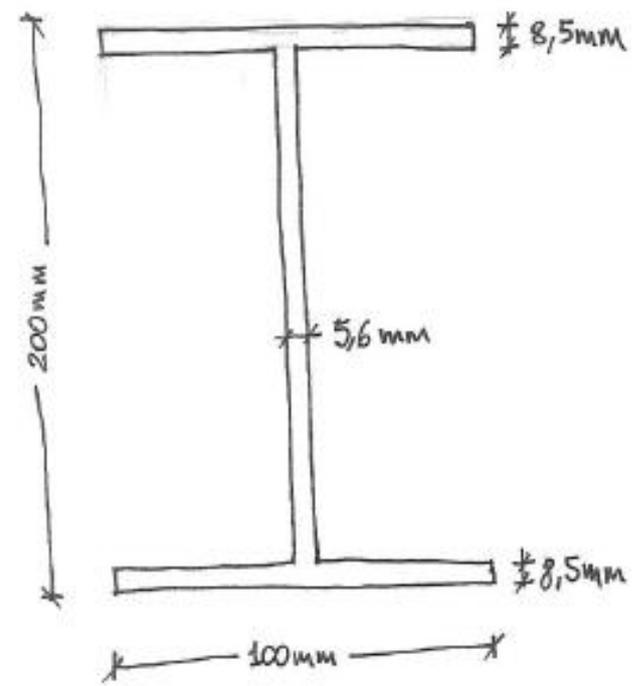
SEZIONE
IPE



$$M = C \cdot h = T \cdot h$$

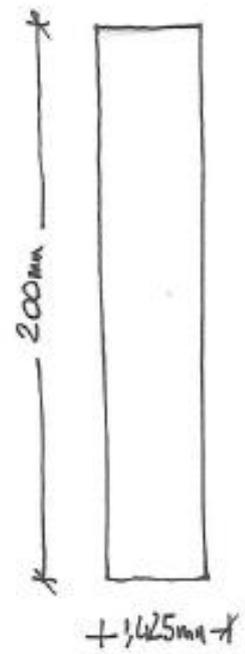
SEZIONI A CONFRONTO

SEZIONE
IPE 200



$$A = 28,5 \text{ cm}^2$$
$$I_x = 194,3 \text{ cm}^4$$
$$W_x = 194,3 \text{ cm}^3$$

SEZIONE RETTANGOLARE PIENA
CON AREA EQUIVALENTE ALL'AREA DELLA IPE200



$$b = \frac{A_{IPE200}}{h_{IPE200}}$$

↓

$$b = 1,425 \text{ mm}$$

$$A = 28,5 \text{ cm}^2$$
$$I_x = 950 \text{ cm}^4$$
$$W_x = 95 \text{ cm}^3$$

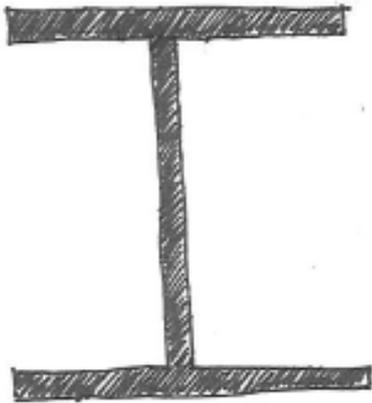
Commento alla terza ed alla quarta slide

Emerge da questa slide la modalità con cui il momento flettente viene assorbita da una trave, ossia per il tramite di un'equivalenza ad una coppia di forze con un braccio diverso da zero. Se ne deduce inoltre che più grande è il braccio della coppia di forze, maggiore è il momento flettente a cui la sezione può resistere.

Nella flessione funzionano bene le sezioni alte.

Questo è il motivo principale per cui nella tecnologia dell'acciaio, si è concepita la trave IPE, per concentrare a parità di area, molto materiale distante dal centro geometrico della sezione. Difatti, se confrontiamo due sezioni (una IPE ed una rettangolare) di pari area (e quindi pari peso e costo) e pari altezza (e quindi pari ingombro architettonico) ci rendiamo conto che l'IPE ha un momento di inerzia e quindi, a parità di altezza, un modulo di resistenza a flessione, superiore al doppio della rettangolare e quindi risulta più del doppio resistente rispetto a flessione. Questa semplice considerazione spingerebbe in maniera naturale verso l'allontanamento reciproco delle due ali, con l'idea semplice che aumentando la distanza tra le ali si aumenta il modulo di resistenza a flessione e quindi il momento resistente, e quindi si possono utilizzare luci infinitamente più alte.

OBIETTIVO : DISTANZIARE LE ALI



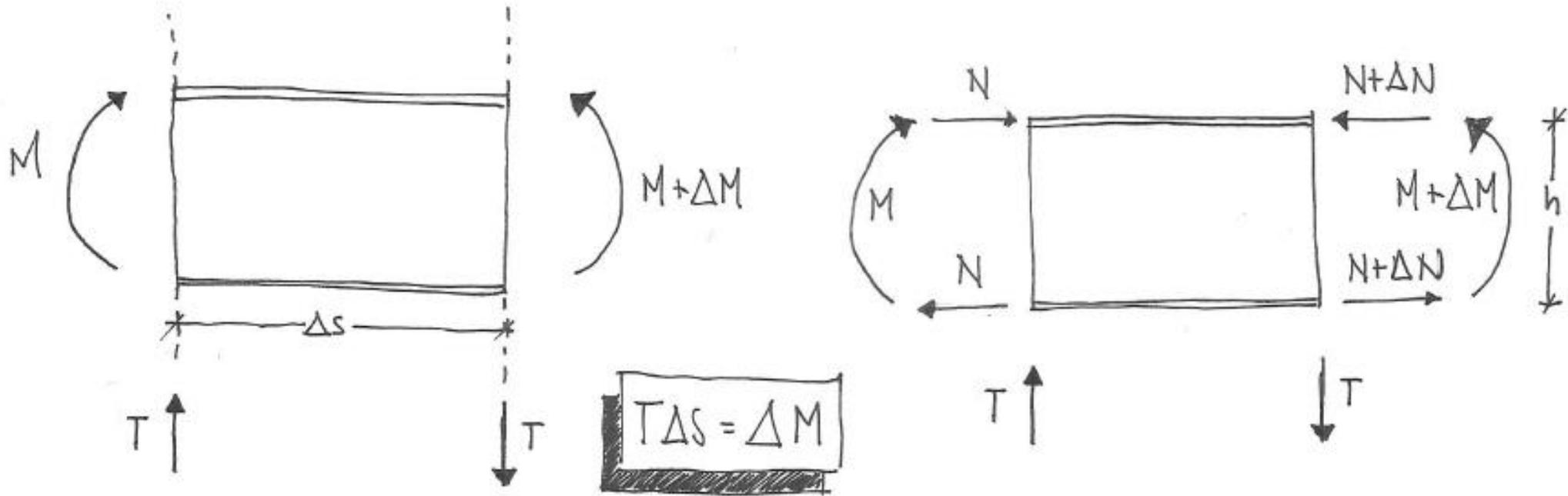
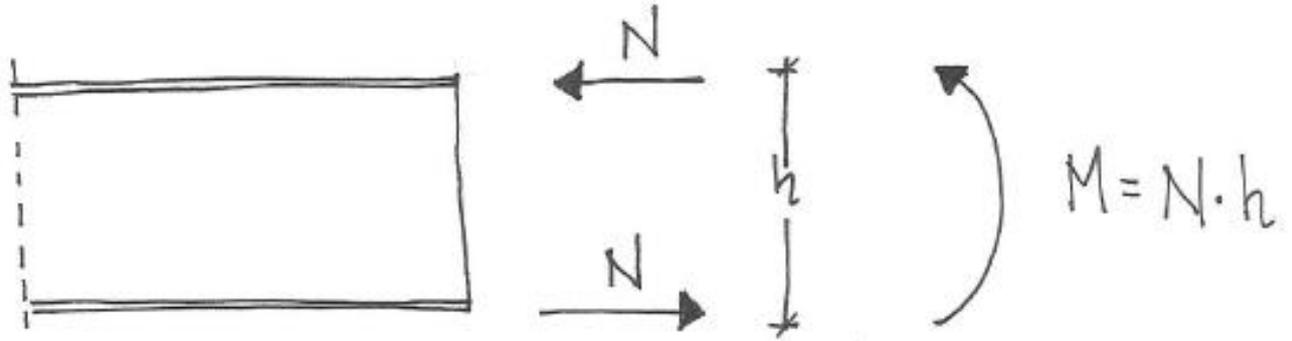
COME LE
TENGO
UNITE?

Commento alla quinta slide

Nell'allontanare le due ali della trave IPE, c'è da chiedersi come si riesca a mantenerle unite. La risposta parrebbe ovvia: allungando fino a quando necessario l'anima che le unisce.

Ma questo costerebbe troppo, perché l'anima piena di tali dimensioni avrebbe un peso eccessivo. La soluzione migliore è un'altra e la si coglie concettualmente solo se si riflette sul ruolo strutturale dell'anima.

IL RUOLO DELL'ANIMA



Commento alla sesta slide

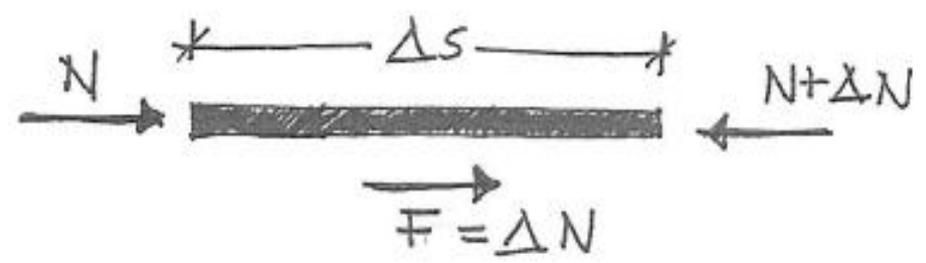
A che serve dunque l'anima?

Facciamo l'ipotesi di essere su di un tratto di trave Δs in cui il momento sia variabile, in cui cioè il momento a destra sia diverso da quello di sinistra e sia ΔM la differenza piccola dei due momenti.

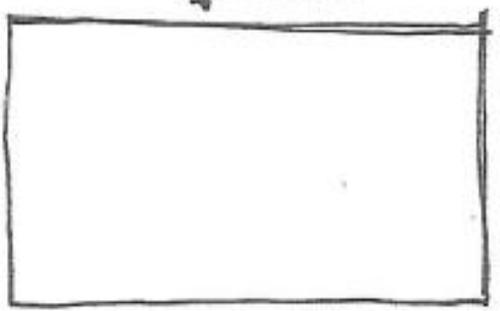
Questo significa che la compressione nell'ala superiore, pari alla trazione nell'ala inferiore, nella sezione di sinistra è diversa da quella di destra di una quantità pari a $\Delta N = \Delta M/h$.

IL RUOLO DELL'ANIMA

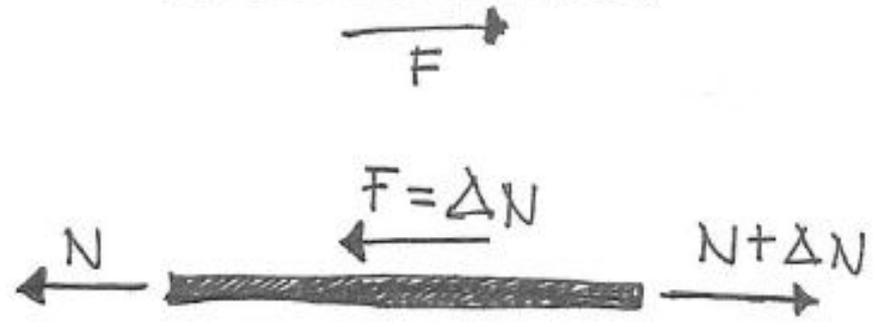
EQUILIBRIO DI UNA SOLA ALA



$$\frac{\Delta M}{\Delta S} = T \uparrow$$



$$T = \frac{\Delta M}{\Delta S} \downarrow$$



$$F \cdot h = T \cdot \Delta S$$

$$\Delta N \cdot h = \frac{\Delta M}{\Delta S} \cdot \Delta S$$

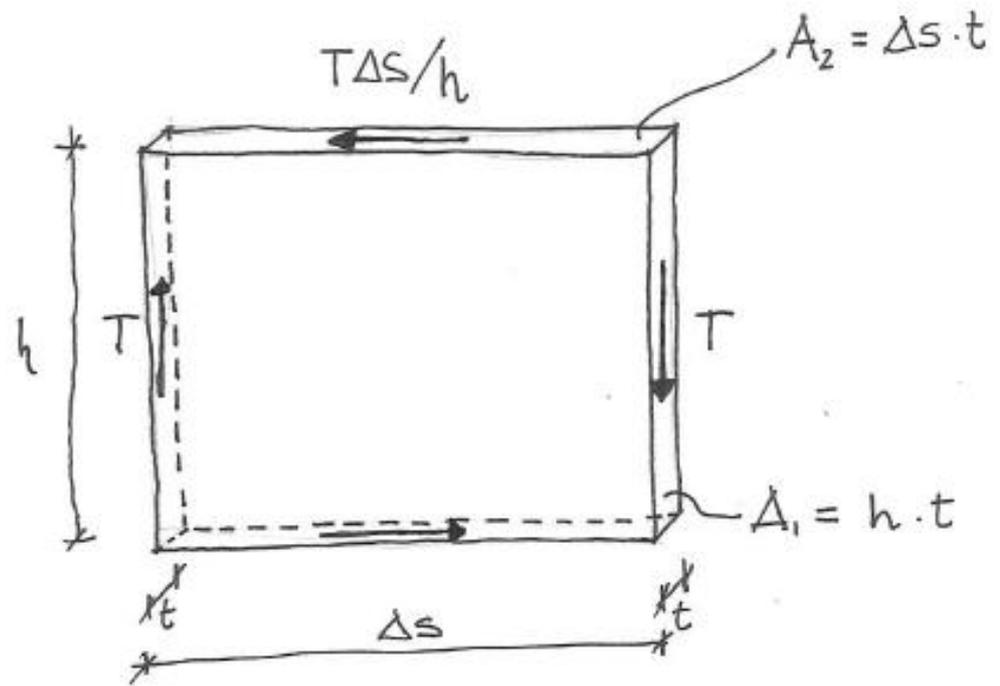
$$\Delta N = \frac{\Delta M}{h} = \frac{T \Delta S}{h}$$

Commento alla settima slide

Se ora noi ci poniamo il problema dell'equilibrio dell'anima superiore o inferiore, ci rendiamo conto che necessariamente deve nascere una forza F che equilibra ΔN , ovvero una coppia di forze di valore ΔN e braccio h .

Il momento prodotto da questa coppia di forze è pari a $\Delta N * h = \Delta M$, e può essere equilibrato da una coppia di forze di braccio ds e valore $\Delta M / \Delta s$. Ma $\Delta M / \Delta s$ è proprio il taglio T . La relazione tra T ed F è dunque pari:
 $T = F * h / \Delta s$.

IL RUOLO DELL'ANIMA

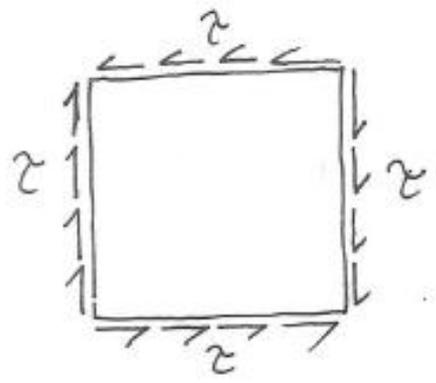


$$\tau_1 = \frac{T}{h \cdot t}$$

$$\tau_2 = \frac{T\Delta s}{h} \cdot \frac{1}{\Delta s \cdot t}$$

$$\tau_1 = \tau_2$$

PRINCIPIO DI RECIPROCA' DELLE TENSIONI TANGENZIALI

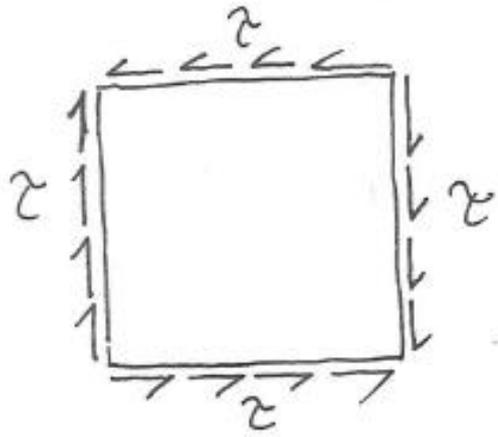


Commento all'ottava slide

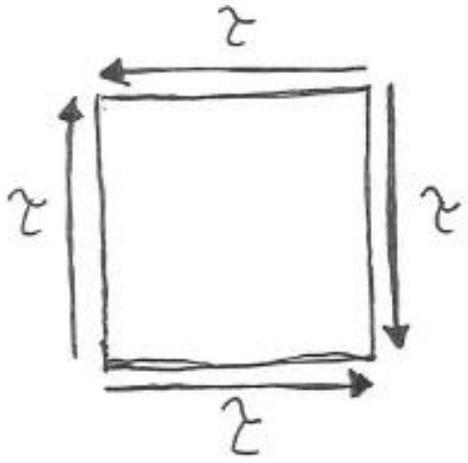
Se divido le forze sulle aree su cui esse agiscono, ottengo delle tensioni tangenziali di pari valore $\tau = T/(h \cdot t) = F/(\Delta s \cdot t)$.

Questa eguaglianza di tensioni tangenziali agenti su facce diverse ed in particolare perpendicolari viene chiamato *principio di reciprocità delle tensioni tangenziali*.

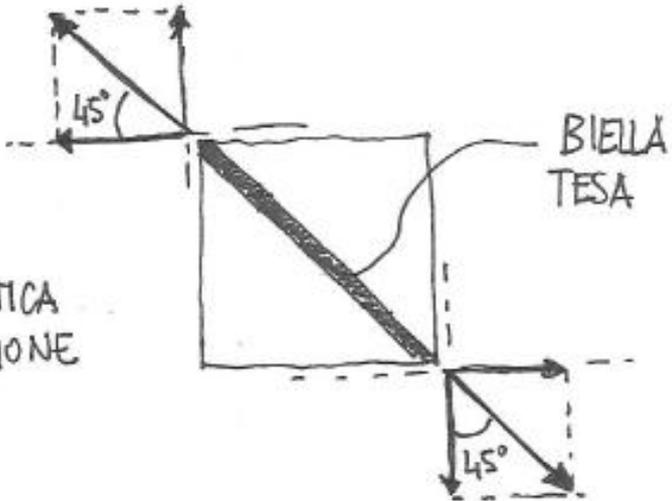
IL RUOLO DELL'ANIMA



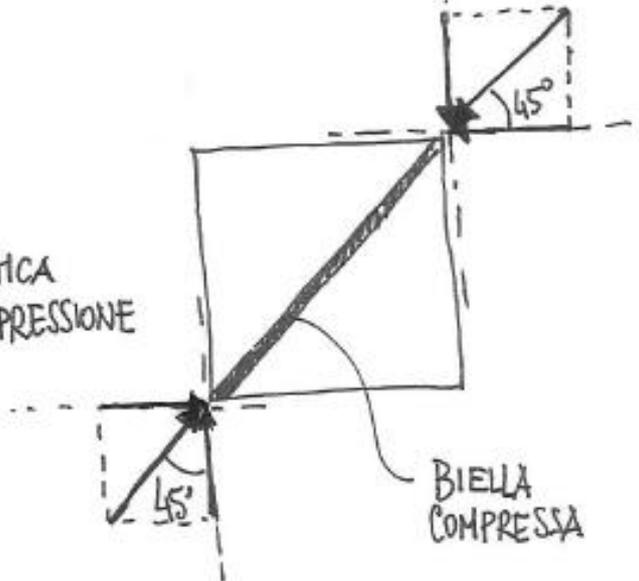
EQUIVALENZA:



ISOSTATICA DI TENSIONE



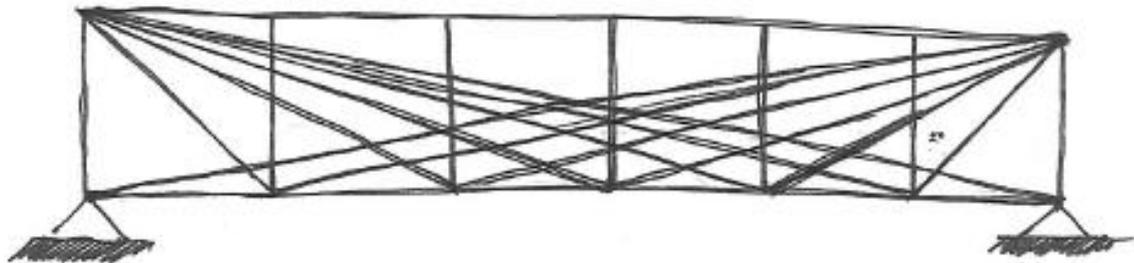
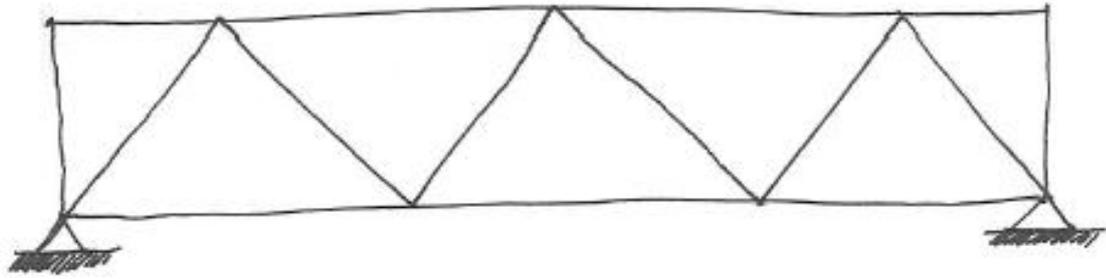
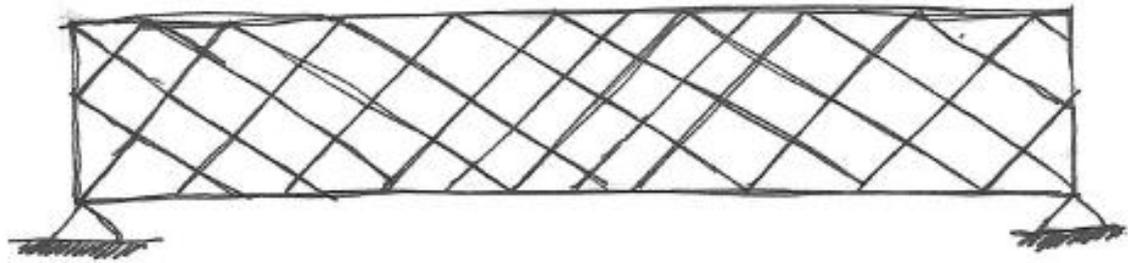
ISOSTATICA DI COMPRESIONE



Commento alla nona slide

Una volta compreso che nell'anima piena nascono delle tensioni tangenziali, se consideriamo una piccola porzione di materia e componiamo diversamente le forze agenti con la regola del parallelogramma, otterremo dalla distribuzione delle forze tangenziali altre forze che agiscono lungo direzioni diverse, traducendosi in forze di trazione o di compressione dirette lungo direzioni a 45° , come indicato in figura.

TRAVI RETICOLARI



Commento alla decima slide

Nel distanziare le ali, nell'inopportunità di colmare questo spazio con un'anima piena (che sarebbe stata troppo pesante ed al contempo anche troppo snella), viene scelto di alleggerire l'anima, svuotandola di materiale, ma mantenendo delle «strisce» di materia disposte a 45° che fungano da bielle tese (tiranti) e compresse (punto).

Viene pian piano concepita un'altra struttura che non lavora più a flessione, come una trave, ma composta di tanti elementi che lavorano a sforzo normale centrato.

Nella genesi di questa tipologia strutturale, storicamente sono stati fatti vari tentativi, alcuni dei quali sono stati dimenticati perché poco efficaci, altri mantenuti e consolidati nel tempo.

Il primo passo verso le moderne travature reticolari fu quello di sostituire all'anima una tralicciatura molto fitta (prima figura in alto). Si comprese presto che la struttura ottenuta era anzitutto troppe volte iperstatica, aveva troppi nodi (che sono la croce e delizia del progettista) e che per contenere il peso le bielle dovevano essere molto sottili, dato il numero, non risultando quindi competitive in rigidità con strutture con un numero di bielle ridotto ma molto più robuste (come la Warren nella seconda figura dall'alto).

Commento alla decima slide (continuazione)

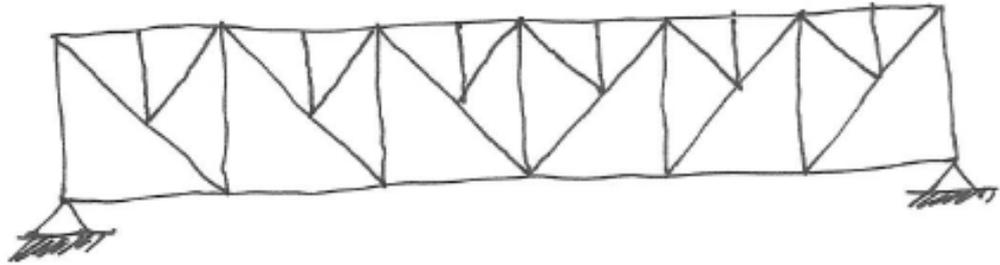
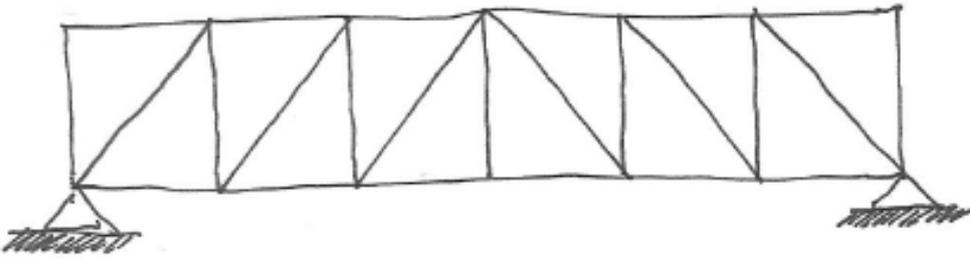
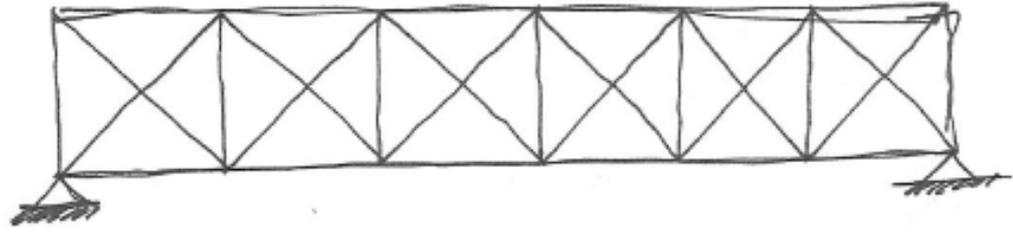
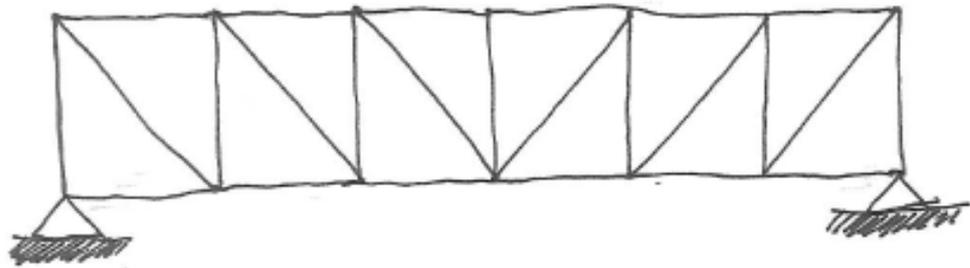
Successivamente si pensò di far partire dal corrente superiore dei montanti per il trasferimento del carico al corrente inferiore, supportando ogni montante con due diagonali che partissero dai due appoggi terminali (vedi terza figura dall'alto).

Il risultato, in casi parossistici, provocò un inconveniente molto istruttivo: Ogni coppia di due diagonali portava direttamente e solo il carico gravante sul montante corrispondente e questa circostanza isolava – rendendo inerti - intere parti della struttura in condizioni di carico molto concentrato su di una parte della struttura.

Ossia, la collaborazione tra le parti era molto scarsa e si tradiva la componente sistemica tipica del comportamento strutturale.

Inoltre gli angoli formati dalle coppie di diagonali erano molto diversi tra loro e quindi sia gli sforzi sia le deformazioni di molti diagonali (specie quelli vicino agli appoggi) risultavano molto diverse tra loro, inducendo distorsioni del reticolo iniziale.

TRAVI RETICOLARI



Commento alla undicesima slide

Per questo sono prevalse soluzioni con un numero ridotto di aste con angoli compresi tra 45° e 60° , e poiché per aste compresse meglio avere le luci ridotte per evitare l'insorgenza dell'instabilità euleriana, alla Warren è risultata preferibile la Pratt (figura in alto a sinistra) in cui sotto un carico uniforme i montanti risultano compressi e le aste diagonali tese.

Al contrario accade a pieno carico nella trave di Howe (figura in basso a destra) in cui a pieno carico i montanti sono tesi e le diagonali compresse; tuttavia, quest'ultima funziona meglio nel caso di carico parziale in cui nelle aste può esserci inversione di segno. Da cui lo schema successivo, con doppia diagonale (figura in alto a destra), tuttavia iperstatica.

In genere si preferiscono travi a triangolazione semplice o canonica, ossia composte da triangoli, ognuno dei quali ha un solo lato in comune con il triangolo precedente e con quello successivo.

Per quanto riguarda travature di grandi dimensioni, allo scopo di evitare di dover irrigidire troppo le aste compresse (il corrente superiore, ad esempio, e i montanti) per evitare l'instabilità euleriana, la lunghezza libera di inflessione viene ridotta con triangolazioni triangolazioni (vedi figura in basso a destra).

Commento alla undicesima slide (continuazione)

Per questa ragione sono prevalse nel tempo soluzioni con un numero ridotto di aste ed inclinazioni comprese tra 45° e 60° , e poiché per aste compresse è meglio avere le luci ridotte - per evitare l'insorgenza dell'instabilità euleriana - alla trave Warren fu spesso preferita Pratt (in alto a sinistra) in cui sotto un carico uniforme i montanti risultano compressi e le diagonali tese.

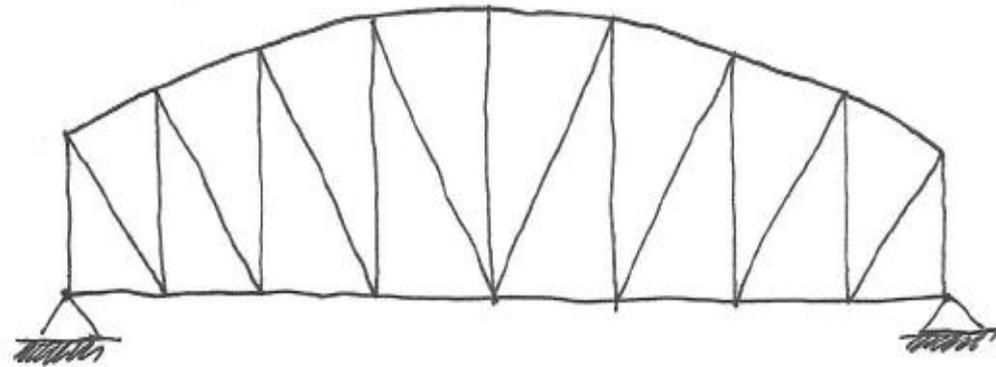
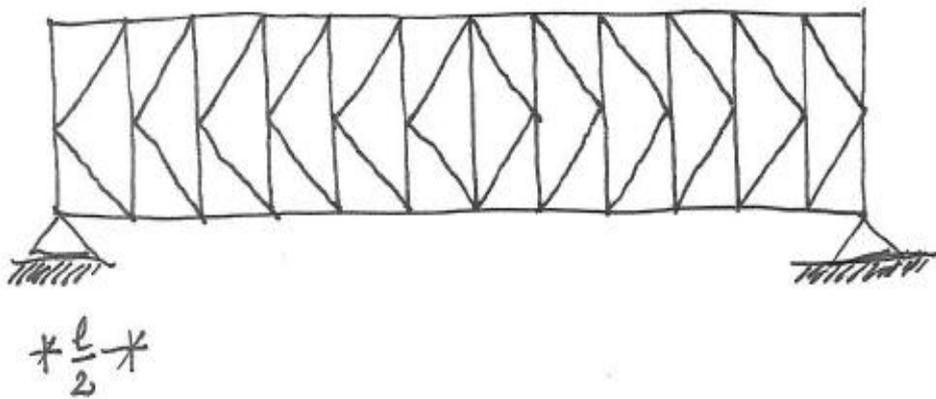
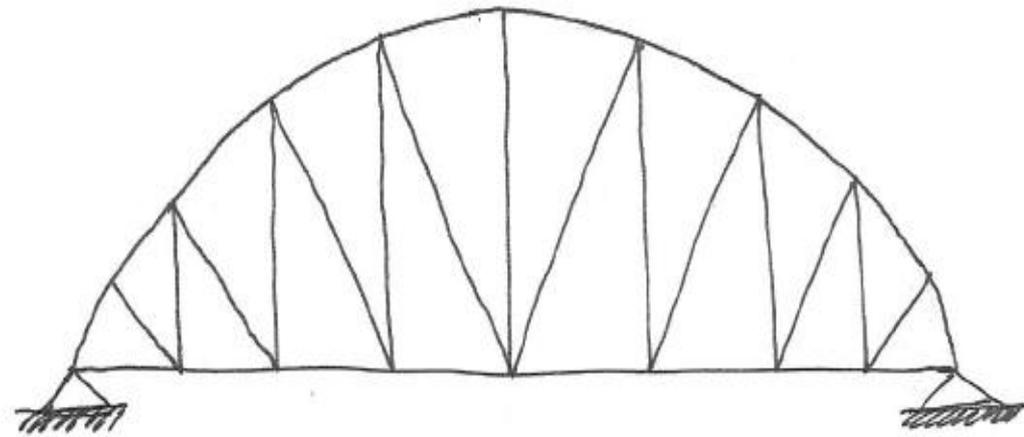
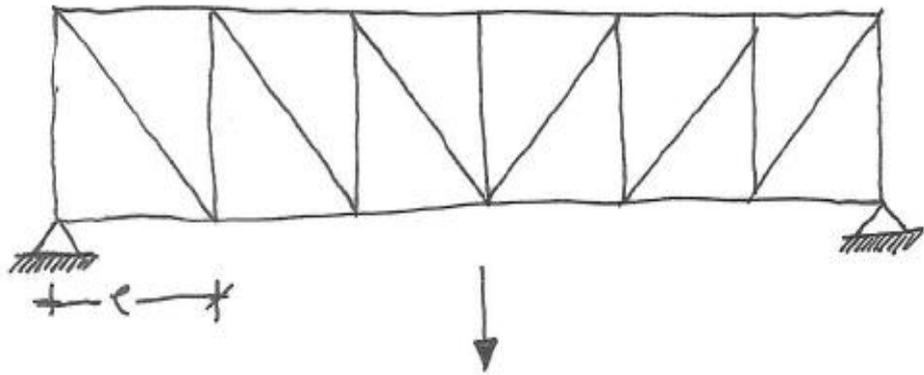
Al contrario accade nella trave di Howe (in basso a sinistra) in cui a pieno carico i montanti sono tesi e le diagonali compresse, ma quest'ultima funziona meglio nel caso di carico parziale in cui nelle aste può esserci inversione di segno.

Da cui lo schema successivo, con doppia diagonale (in alto a destra), tuttavia iperstatica. In genere si preferiscono travi a triangolazione semplice o canonica, ossia composte da triangoli, ognuno dei quali ha un solo lato in comune con il triangolo precedente e con quello successivo.

In basso a destra, uno schema che spezzando la luce del corrente superiore con una triangolazione secondaria, ed introducendo anche ulteriori montanti (in numero praticamente doppio rispetto alla Pratt), sia adatta a portare compressioni maggiori, avendo diminuito il rischio dell'instabilità euleriana della aste compresse.

TRAVI RETICOLARI

PER GRANDI LUCI

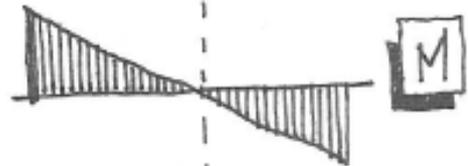
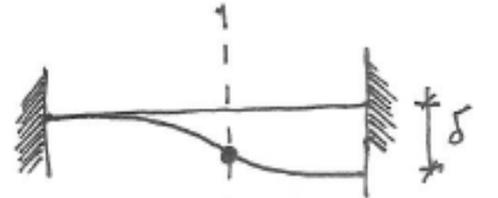
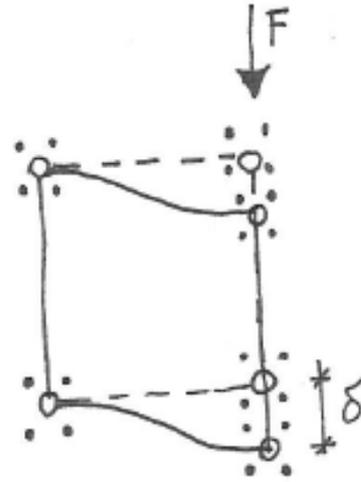
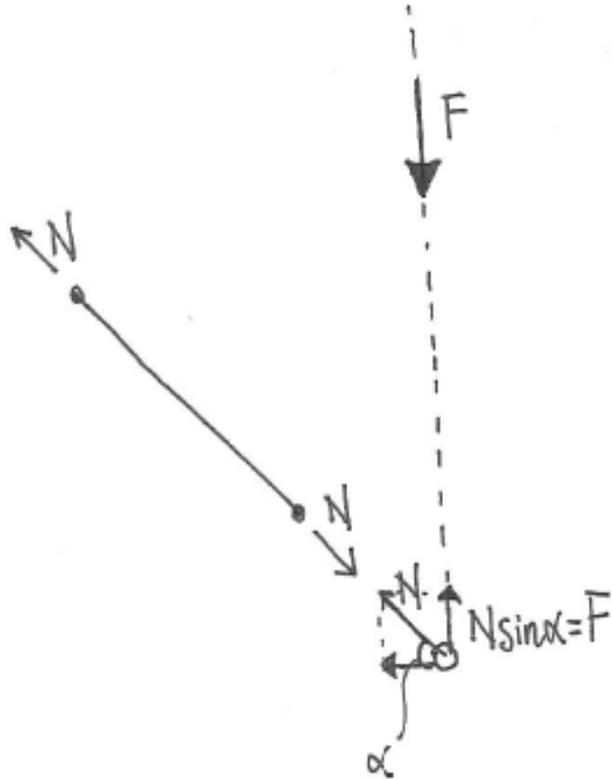
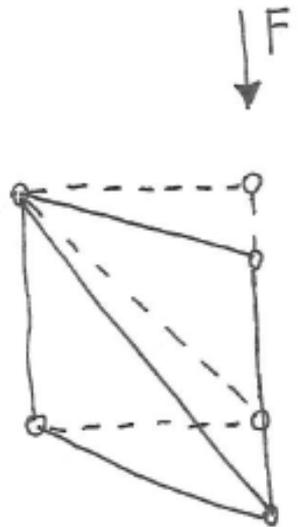
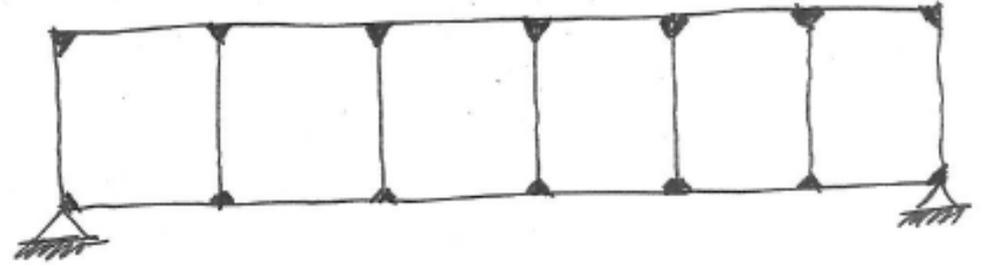
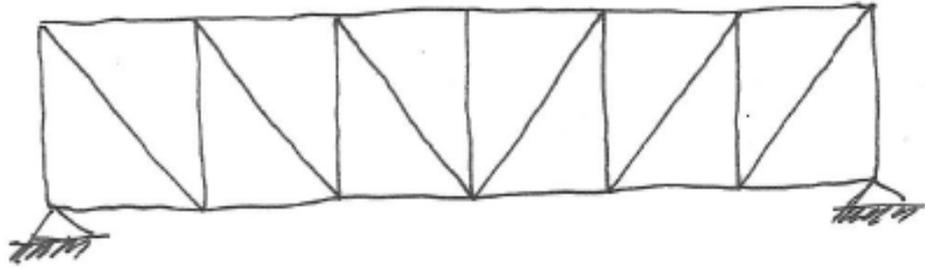


Commento alla dodicesima slide

Per travature reticolari stese su grandi luci, esistono altre soluzioni. L'aumento del numero di montanti, ha portato alla configurazione della trave K (disegnata in basso a sinistra e confrontata con la Pratt in alto a sinistra) che dimezza le luci del corrente superiore rispetto ad una Pratt, creando una scansione spaziale che ben si adatta alla presenza di un'orditura secondaria (ponte o edificio ponte), pur mantenendo lo schema isostatico.

Sempre su grandi luci si può pensare di diminuire lo sforzo nei correnti utilizzando una travatura ad altezza variabile. Un esempio tipico è quello di un corrente superiore a forma parabolica (figura in alto a destra) che simuli l'andamento parabolico del momento su di una trave doppiamente appoggiata. Tuttavia, se completamente parabolico alcune aste presentano angoli talmente acuti da creare distorsioni nel reticolo e quindi può essere preferibile lo schema di figura in basso a destra, chiamato «semi-parabolico».

TRAVI VIERENDEEL



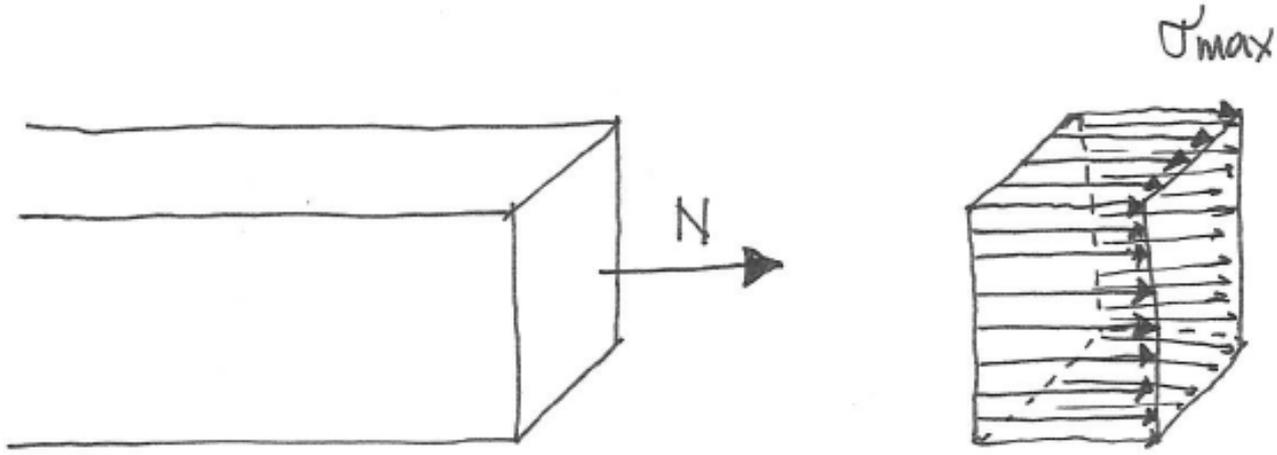
Commento alla tredicesima slide

Un cenno a parte va fatto per la trave Vierendeel. Questa, di generazione più recente rispetto alle travature reticolari, ha un funzionamento meccanico diverso, basato sulla mancanza delle aste diagonali e sulla presenza di nodi incastro e non di nodi cerniera. Il comportamento meccanico è quello che mostriamo in figura, confrontando il singolo modulo di una travatura reticolare e quello di una Vierendeel.

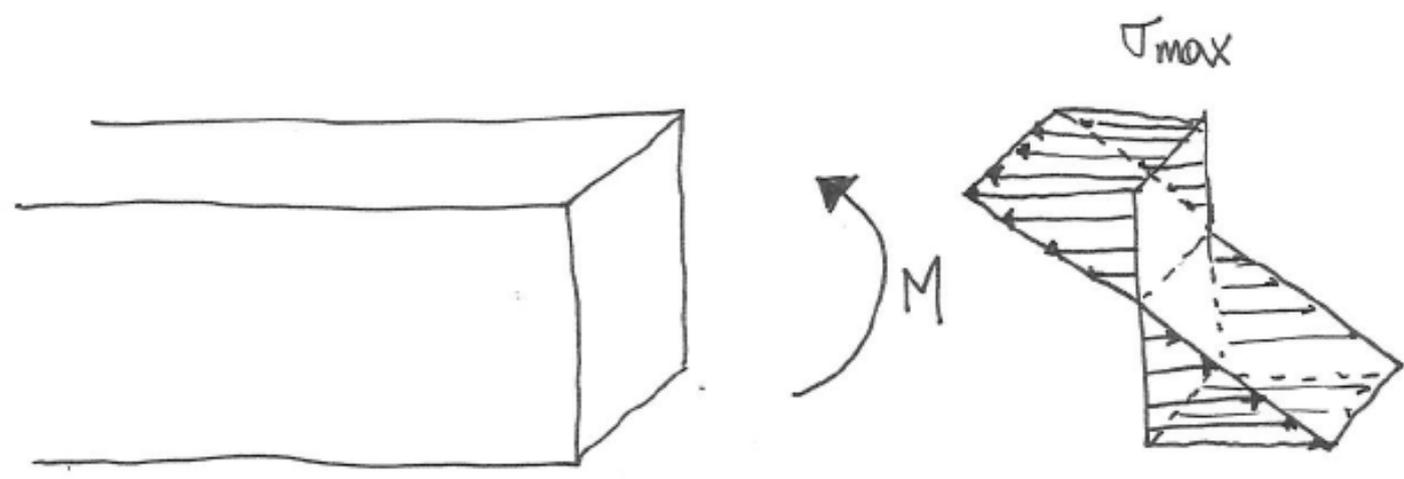
Partiamo dall'idea che il modulo base, ossia quattro aste con quattro nodi cerniera, è una struttura labile e di fatti si usa in meccanica per trasmettere il movimento: si chiama quadrilatero articolato. Nella travatura reticolare, la labilità si contrasta con la presenza dell'asta diagonale.

Al movimento rigido del quadrilatero articolato, la diagonale reagisce con la sua rigidità assiale, allungandosi un po' qual tanto che basta per sviluppare delle forze elastiche che si oppongono alla forza verticale nel montante. Il quadrilatero base della Vierendeel è invece privo di diagonale, ed il solo modo che ha di opporsi ad un movimento rigido è quello di munirsi di nodi rigidi, che non ammettano la rotazione relativa. In tal caso, la forza sul montante provocherà una deformata di natura flessionale e poiché la flessione è accompagnata da taglio, il taglio equilibrerà la forza verticale esterna. In tal caso, poiché la Vierendeel lavora per flessione, mentre le travature reticolari lavorano per sforzi assiali, mediamente la Vierendeel sarà più deformabile e quindi, per contrastare le azioni esterne avrà bisogno di sezioni maggiori. Quindi, mediamente è più pesante di una travatura reticolare.

SFORZO NORMALE V.S. FLESSIONE



LO SFORZO
NORMALE
OTTIMIZZA
IL MATERIALE



Commento alla quattordicesima slide

Questa circostanza che una Vierendeel sia mediamente più pesante di una travatura reticolare di pari altezza e pari luce dipende dal fatto che contrastare i carichi sviluppando flessione, ossia curvatura flessionale e momento flettente, è più gravoso e dispendioso che farlo sviluppando sforzo normale e deformazione assiale. La ragione profonda di questa semplice verità deriva da come il materiale è impegnato dalla flessione e dallo sforzo normale. La flessione impegna molto solo le fibre di materiale distanti dal centro geometrico della sezione medesima, lasciando praticamente disimpegnato il cuore della sezione.

Lo sforzo normale, invece, impegna allo stesso modo tutte le fibre della sezione e questo fa sì che ottimizzi il materiale producendone complessivamente un risparmio. Questo a grandi spanne significa che se trasformiamo la flessione in sforzi normali, riusciamo a superare luci maggiori oppure produciamo strutture più snelle. Attenzione tuttavia alla snellezza, perché strutture troppo snelle hanno altri problemi che qui non trattiamo e che sono problemi di instabilità. Ma qui non ne parliamo. Ovviamente, ci sono altri modi per superare luci maggiori, ovvero cambiare materiale, passando da un materiale intrinsecamente più pesante ad uno intrinsecamente più leggero. Ma questo non è l'oggetto del seminario. Tra poco vedremo un'altra struttura che sfrutta molto lo sforzo normale per superare luci e questo è l'arco.



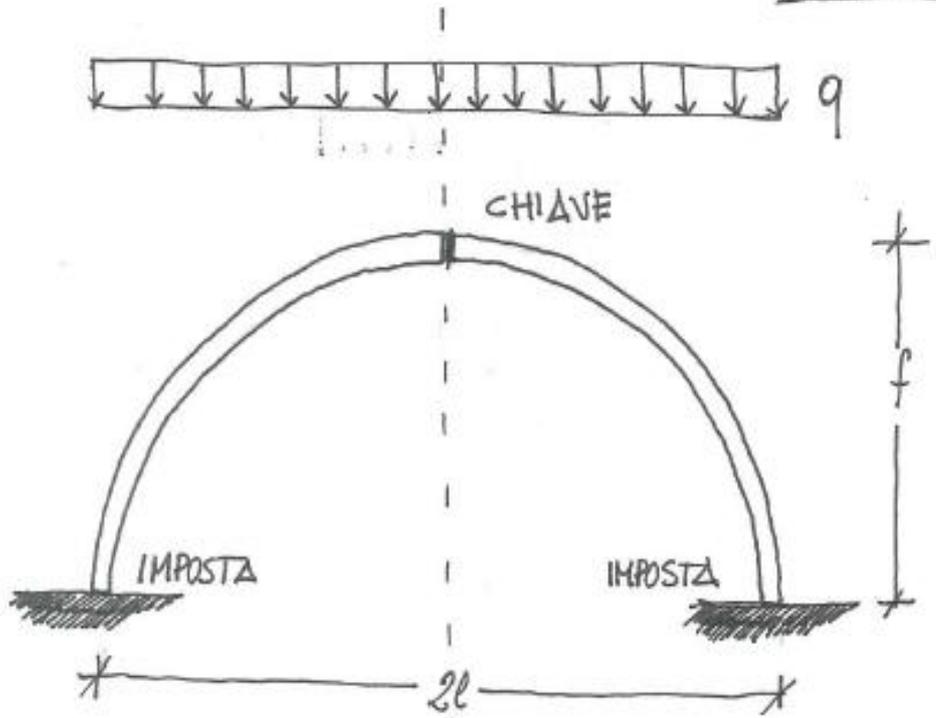
Commento alla quattordicesima slide

Le Vierendeel sono maggiormente utilizzate proprio per l'assenza delle diagonali. L'assenza delle diagonali nei ponti o passerelle conferisce all'insieme un aspetto decisamente meno scheletrico ed esteticamente più valido rispetto alla travatura reticolare.

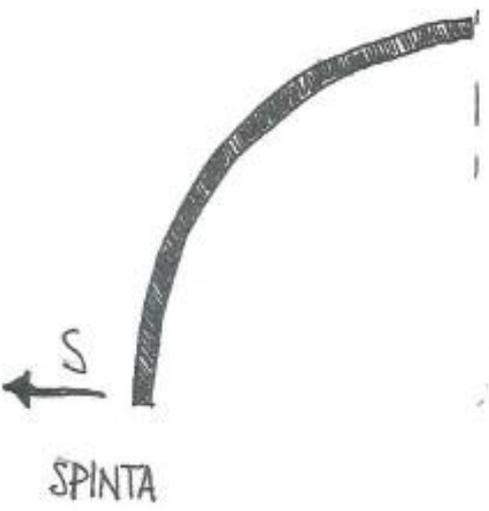
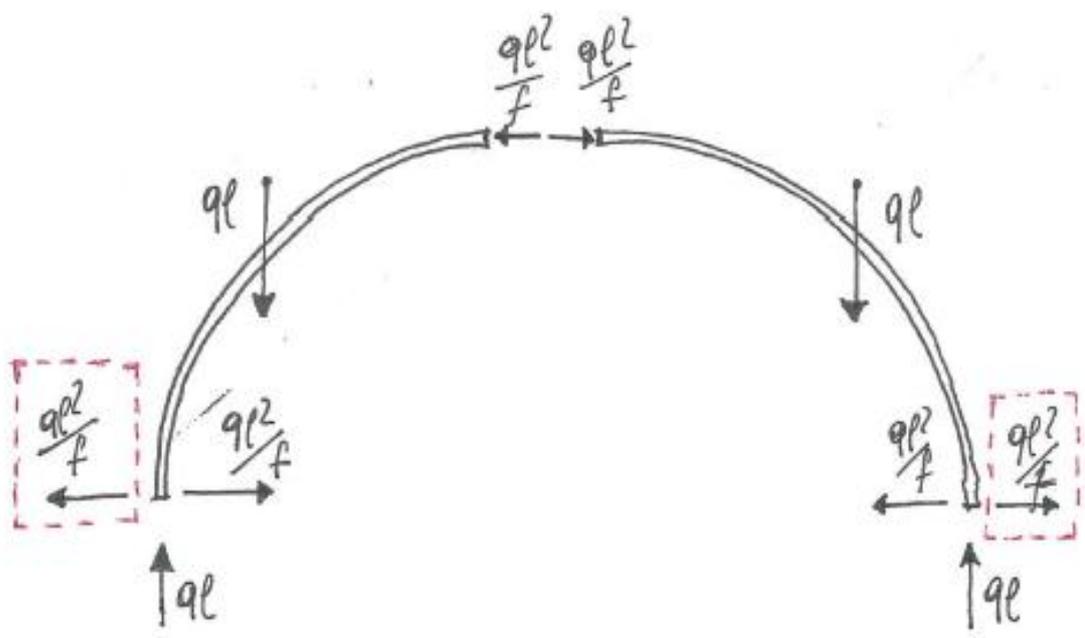
Inoltre, quando utilizzate negli edifici, le Vierendeel non comportano problemi per le finestre se usate sulla superficie dell'edificio, né di attraversamenti interni, se usate all'interno dell'edificio medesimo.

Guardiamo i seguenti esempi, di ponti ed edifici.

L'ARCO



L'ARCO E' UNA STRUTTURA SPINGENTE



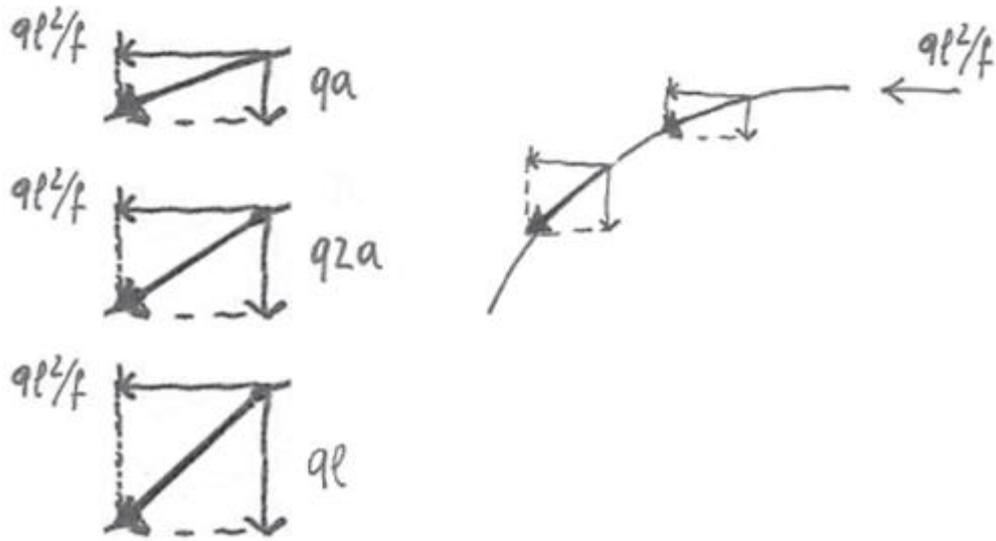
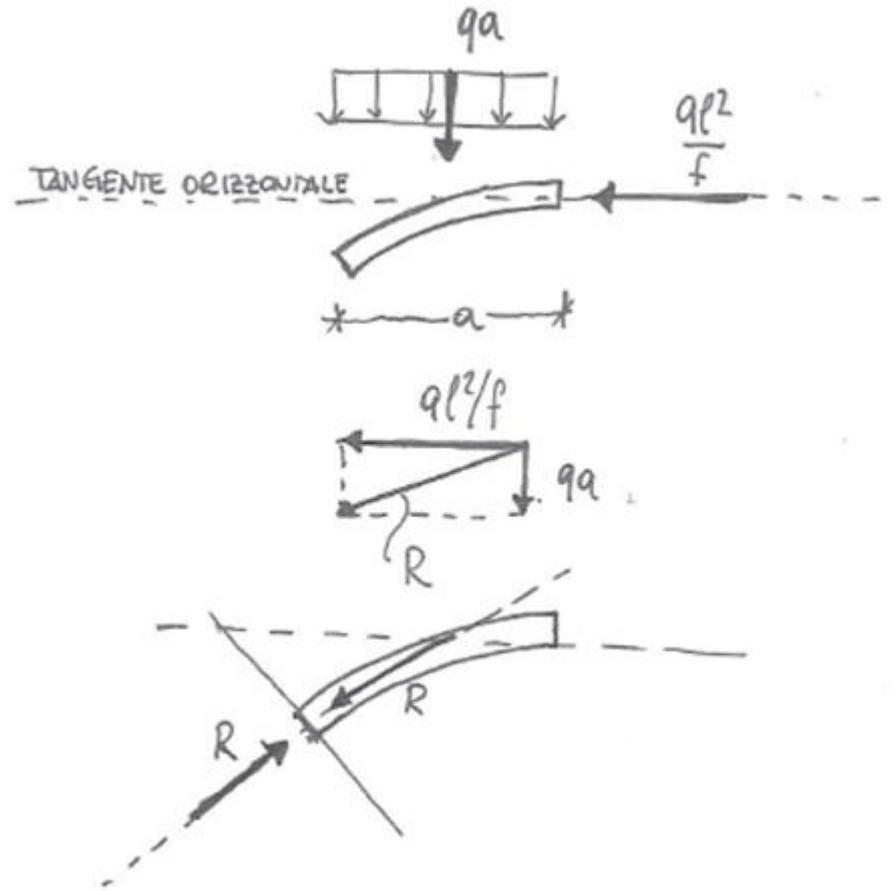
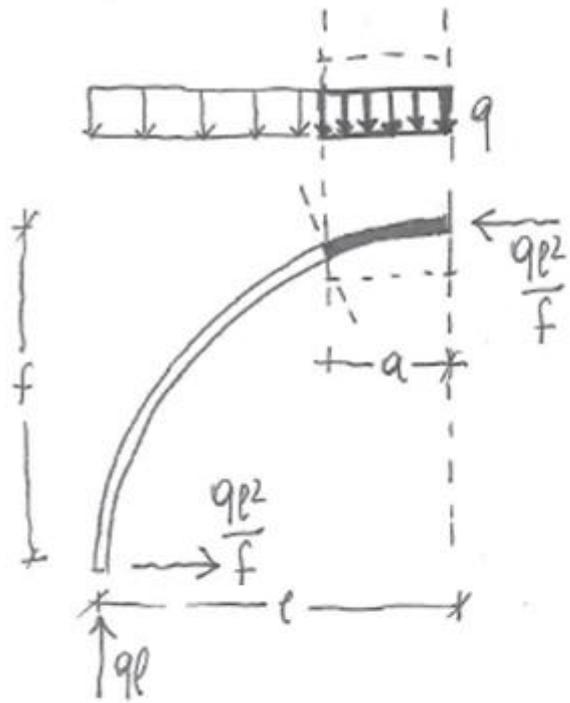
"L'arco è la somma di due debolezze"
Leonardo Da Vinci

Commento alla quindicesima slide

Gli archi sono le prime strutture che appaiono nella storia dell'umanità che lavorano per forma. Si dice che l'arco l'abbiano inventato i Romani, ma in realtà questo è falso, in quanto l'hanno inventato gli etruschi ed i Romani ne hanno fatto uso estensivo. Leonardo da Vinci si esprimeva sull'arco dicendo che è una somma di due debolezze che appoggiandosi reciprocamente riescono a trovare un equilibrio stabile. Questo è presto spiegato: una metà dell'arco sarebbe labile perché a terra o è incernierato o è semplicemente appoggiato e quindi tenderebbe a ruotare in modo orario, se non ci fosse l'altra metà a fargli da vincolo. Ovvio, quindi che la sezione tramite cui i due archi trovano vicendevole appoggio deve fornire una forza, di compressione su entrambe le facce, facilmente determinabile da un bilancio dei momenti.

Questa forza in chiave si chiama spinta dell'arco. Per un arco simmetrico caricato da un semplice carico ripartito, questa spinta assume il valore ql^2/f dove f è la freccia dell'arco. Ovvio che essendo la spinta inversamente proporzionale alla freccia, più l'arco è ribassato, più l'arco è spingente. Il ribassamento dipende dal rapporto f/l .

L'ARCO



Commento alla sedicesima slide

La presenza della spinta in chiave e la curvatura della linea dell'asse sono i due elementi che fanno sì che l'arco lavori prevalentemente a sforzo normale, e quindi, sia naturalmente una struttura ottimizzata ed adatta a superare grandi luci. Vediamo qual è l'effetto combinato della spinta in chiave e della curvatura dell'asse.

Nella sezione in chiave c'è solo sforzo normale centrato, di valore pari alla spinta suddetta. Se si considera una parte dell'arco di lunghezza a , su questa agiranno due forze esterne, la spinta e la risultante dei carichi verticali agenti sul tratto. Queste due forze si sommano e danno origine ad una risultante R che non sarà più orizzontale come la spinta ma avrà anche una prima, piccola, componente verticale. La forza interna sulla sezione su cui abbiamo operato il taglio, dovrà bilanciare questa forza R e dovrà quindi essere inclinata. Ma siccome al contempo per effetto della curvatura anche la sezione si è inclinata di un qualche angolo, la forza R agente sulla sezione sarà prevalentemente una forza normale.

Iterando questo procedimento al crescere del carico esterno, la forza risultante avrà sempre componente orizzontale pari alla spinta e componente verticale che va crescendo e quindi la forza risultante cambierà angolazione diventando sempre più verticale; al contempo anche la sezione trasversale dell'arco cambia orientazione e questo implica che la forza interna che deve equilibrare la risultante delle forze esterne è pressochè normale, ossia perpendicolare alla sezione.



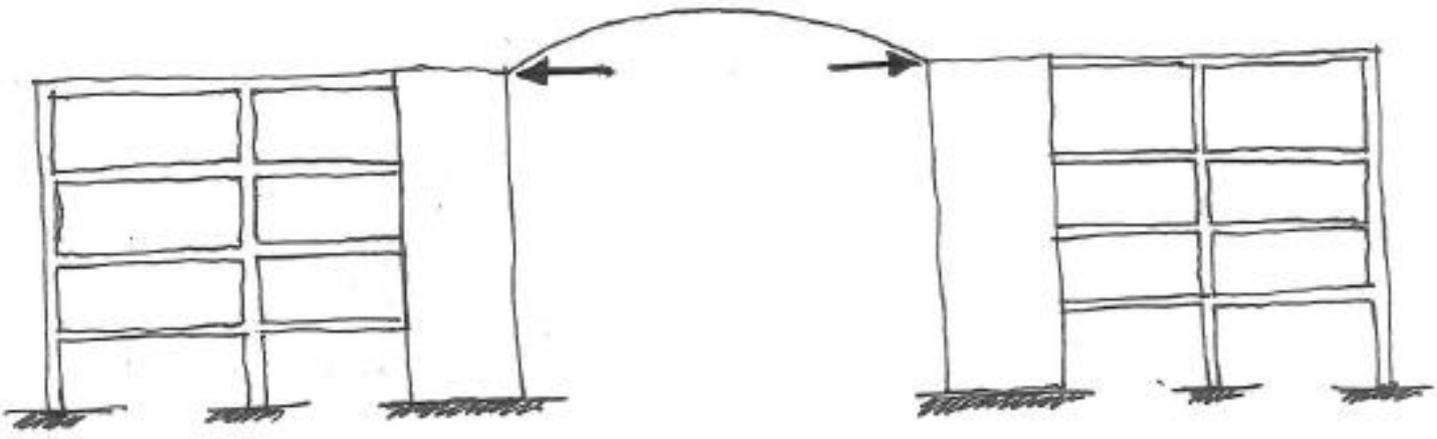
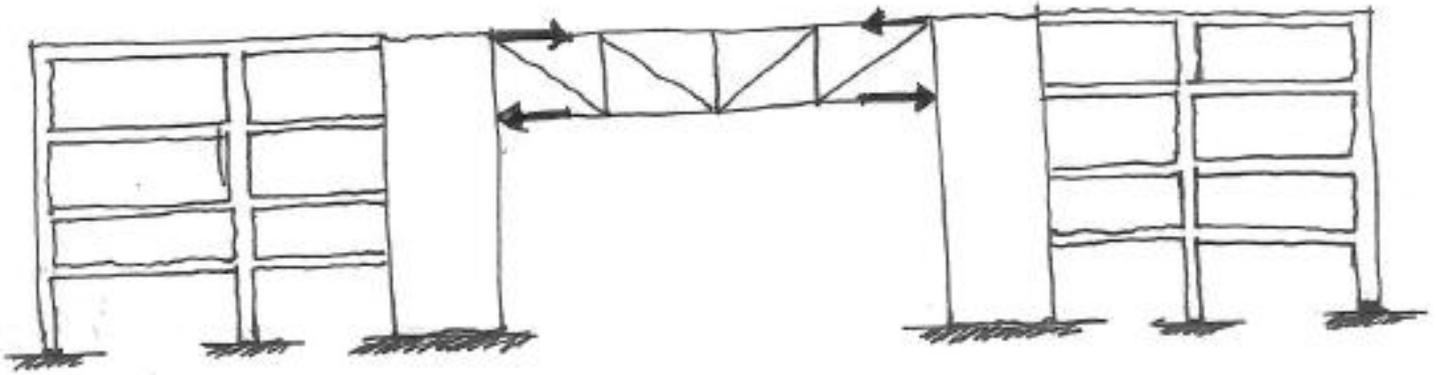
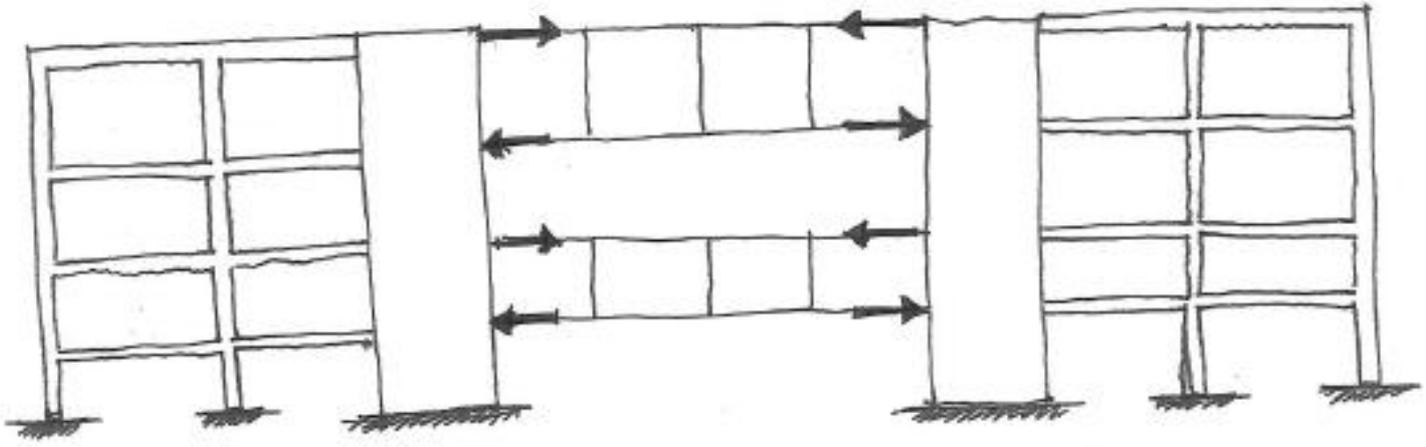
Commento alla diciassettesima slide

Nella figura vediamo tante strutture ad arco, di epoca, dimensioni e tecnologie diverse. Si va dagli storici archi di pietra di epoca romana (il ponte ad arco è molto ribassato e quindi ha grandi spinte orizzontali) o di epoca gotica (gli archi ogivali), ad archi moderni, realizzati in acciaio o in cemento armato o in legno lamellare, fino agli archi «naturali», come l'arco in roccia che testimonia che la natura sa far molto bene il suo lavoro.

Si noti, in quest'ultimo la sottigliezza della sezione in chiave, a testimonianza dell'assoluta prevalenza dello sforzo normale nel suo stato di sforzo.

Si osservi infine la grazia del semplice arco ribassato con catena del gazebo metallico, e dell'opera scultorea dell'arco funicolare in calcestruzzo armato di Saint Luis (Missouri).

STRUCTURE IMPEGNATIVE

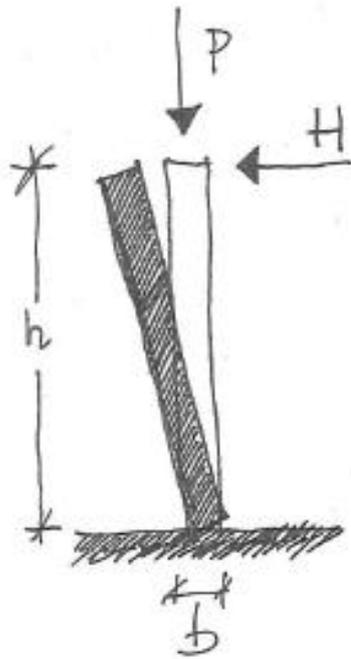


Commento alla diciottesima slide

Facciamo ora riferimento agli schemi strutturali in figura, tutti riferentesi ad edifici che incorporano, come soluzione strutturale in due casi di un edificio ponte, ed in un terzo caso come copertura, una travatura reticolare, una trave Vierendeel ed una struttura ad arco.

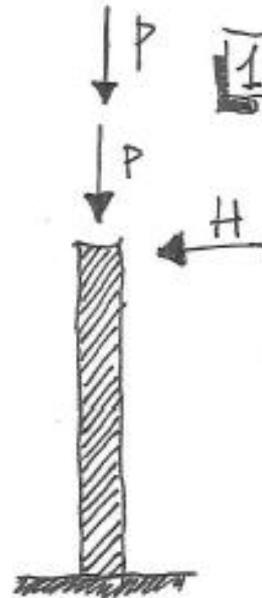
Le tre strutture (reticolare, Vierendeel ed arco) sono strutturalmente impegnative, perché non solo scaricano sui loro appoggi il loro peso più il peso di tutto ciò che portano permanentemente o accidentalmente, ma scaricano anche delle forze orizzontali, spinte o anche trazioni, che necessitano di essere messe in conto per il corretto dimensionamento delle strutture di supporto.

LA SPINTA

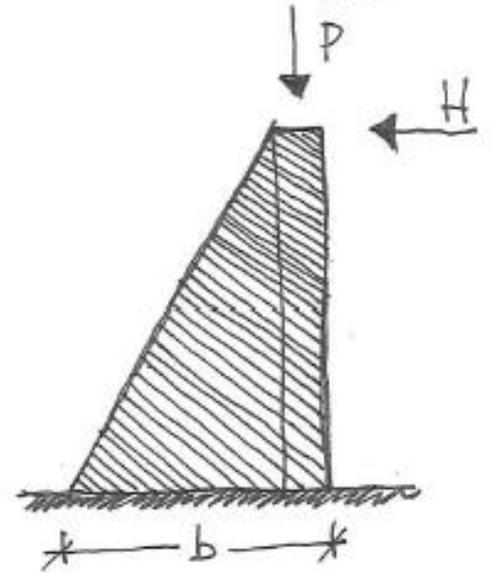


RIBALTA MENTO

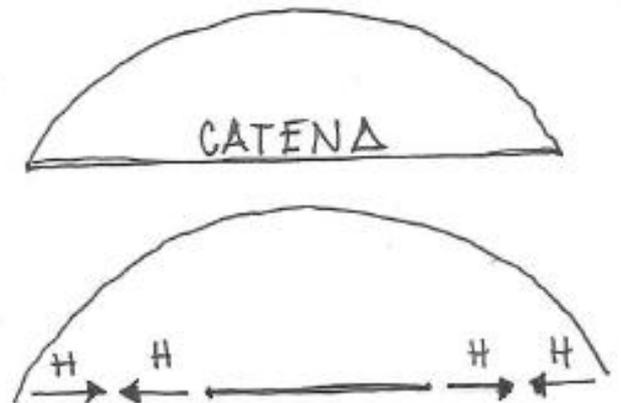
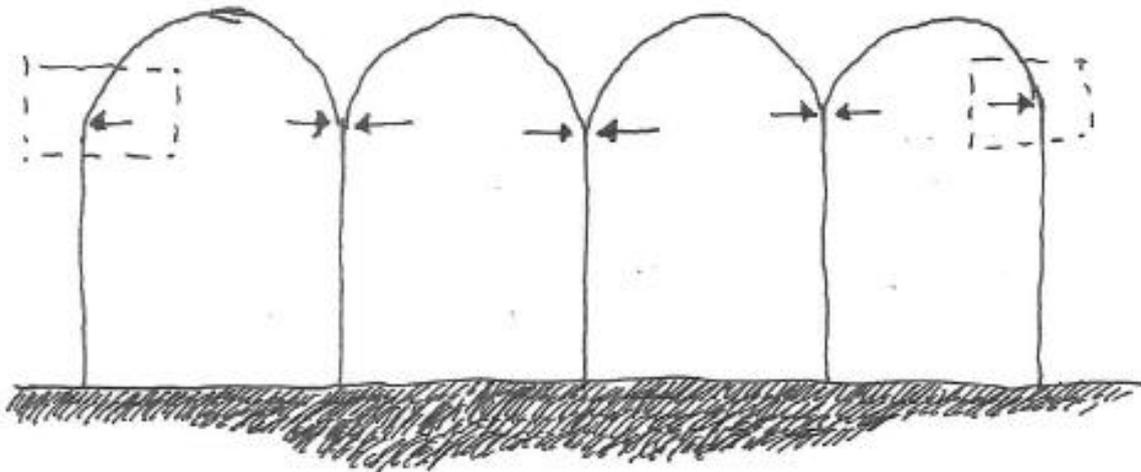
$$Hh \geq \frac{Pb}{2}$$



1 CRESCE P



2 CRESCE

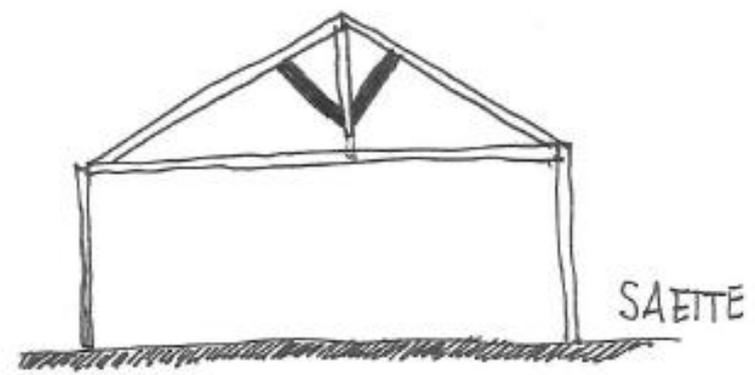
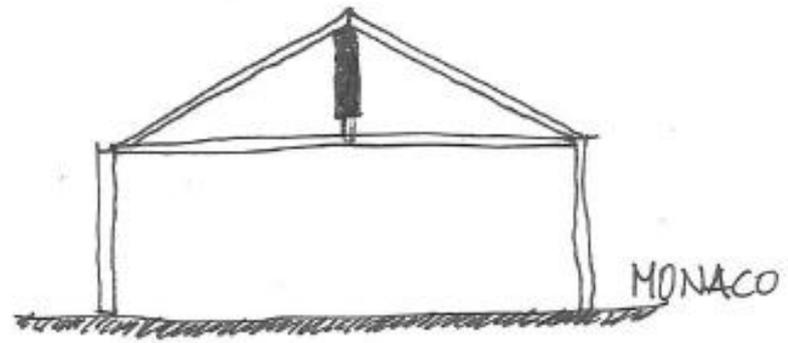
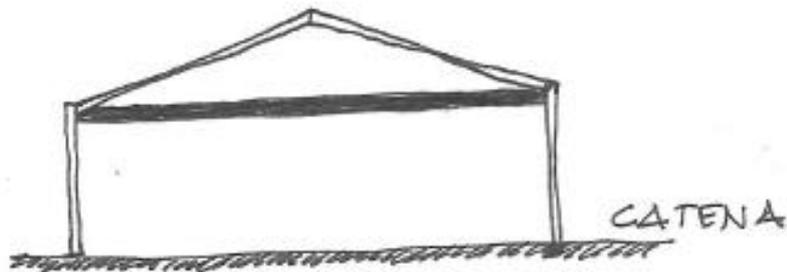
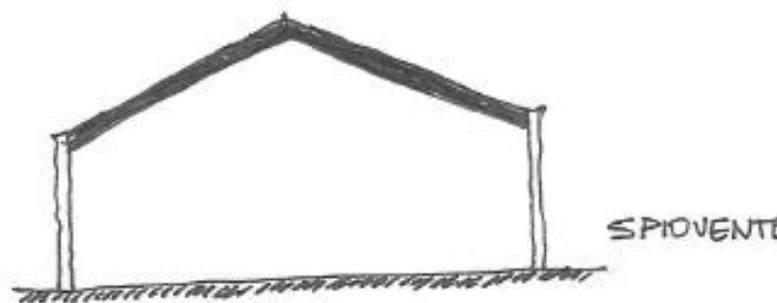
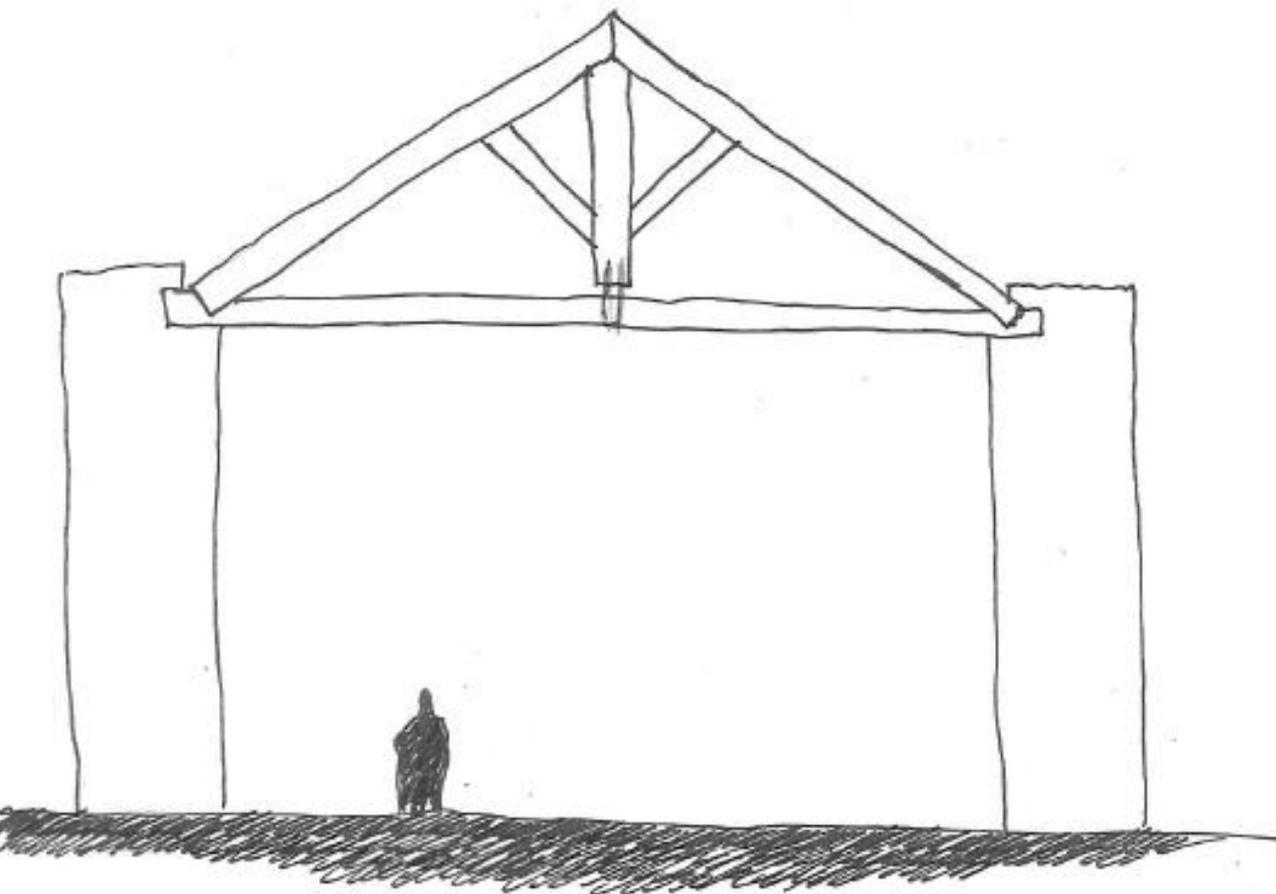


Commento alla diciannovesima slide

Riagganciandoci alla slide precedente, effettuiamo ora una piccola carrellata di soluzioni tecniche che si sono imposte per affrontare il problema della spinta degli archi. Da sinistra a destra vediamo l'effetto della spinta su di un piedritto, che rischia il ribaltamento qualora in momento ribaltante della spinta $H \cdot h$ divenga superiore al momento stabilizzante del peso $P \cdot b/2$. A tale problema si è storicamente risposto aumentando il momento stabilizzante, o aumentando il peso P con artifici vari, oppure aumentando la larghezza b trasformando quindi il piedritto in contrafforte.

In una successione di archi, la spinta reciproca si elide in ogni piedritto intermedio, consentendo piedritti snelli anche con archi ribassati, ma persiste nell'arco isolato o nell'arco di angolo di un'intera arcata. A questo è stato storicamente risposto con l'introduzione della catena, che assorbe la spinta trasformandola in trazione.

GENESI DELLE CAPRIATE



Commento alla ventesima slide

Infine, dedichiamo una slide al racconto della genesi concettuale, nonché storica, della capriata. Questa nasce dall'imposizione degli spioventi che, generando un effetto arco e trasformando il carico in sforzo normale centrato di compressione, consentono un agevole superamento di luci maggiori rispetto alle travi inflesse.

L'effetto arco genera tuttavia una spinta orizzontale sui muri ed impone l'introduzione di una catena, che si faccia carico della spinta trasformandola in trazione interna.

Il peso della catena (sottile e quindi molto deformabile a flessione anche solo per il peso proprio) impone nel tempo la presenza del monaco, per sorreggerla.

Il monaco diviene infine il supporto di due aste diagonali, le saette, che spezzano la lunghezza del corrente compresso, riducendo il rischio di insorgenza di instabilità per carico di punta.

