



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Prof. Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583478
cstival@units.it

TEMA

9

Principi costruttivi

Laboratorio di **Progettazione Tecnologica dell'Architettura**
Corso di **Materiali ed Elementi Costruttivi**

9.1

Panoramica

Questioni progettuali

3



matrice piana di
un vano agibile



spazio abitabile

Classificazione dei principi costruttivi

SICUREZZA STATICA

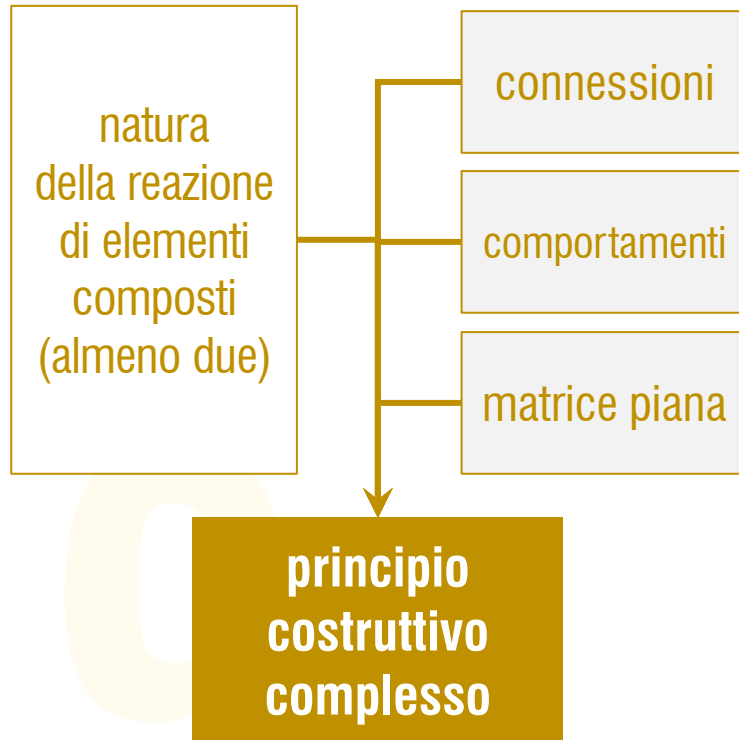


I **principi costruttivi elementari** riguardano la **scelta** dei **materiali** in funzione della loro **capacità di resistere** alle sollecitazioni.

Pongono dunque in **relazione diretta** i **materiali base** (MB) e gli **elementi costruttivi base** (ECB) con il **comportamento** ai fini della **stabilità**, senza dare un riferimento preciso alla forma degli elementi costruttivi funzionali o degli elementi di fabbrica.

Classificazione dei principi costruttivi

SICUREZZA STATICA



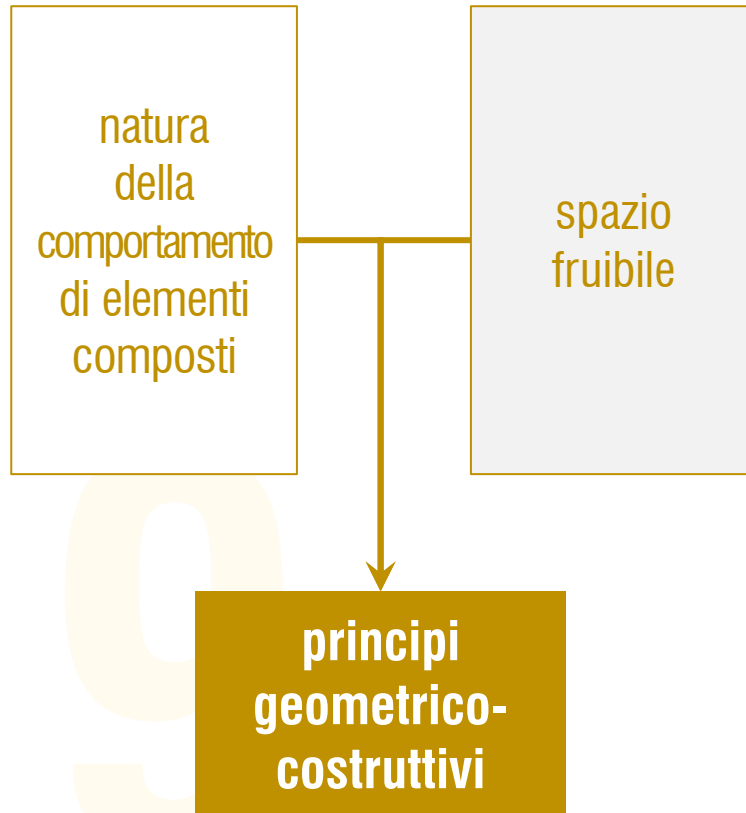
I **principi costruttivi complessi** definiscono (**originano**) un **modo** per **racchiudere uno spazio**.

la **scelta** dei **materiali** in funzione della loro **capacità di resistere** alle sollecitazioni.

Pongono dunque in **relazione** gli **elementi costruttivi funzionali** che danno origine ad un modo per racchiudere uno **spazio**, con i **principi elementari**, in funzione delle **condizioni di vincolo** che esistono **tra** gli **elementi** stessi.

Classificazione dei principi costruttivi

FRUIBILITÀ



Classificazione dei principi costruttivi

BENESSERE – ASPETTO



9.2

Principi costruttivi elementari

Principi costruttivi elementari

9

riguardano la scelta dei materiali in funzione della capacità di resistere alle sollecitazioni



Principi costruttivi elementari

10

riguardano la scelta dei materiali in funzione della capacità di resistere alle sollecitazioni



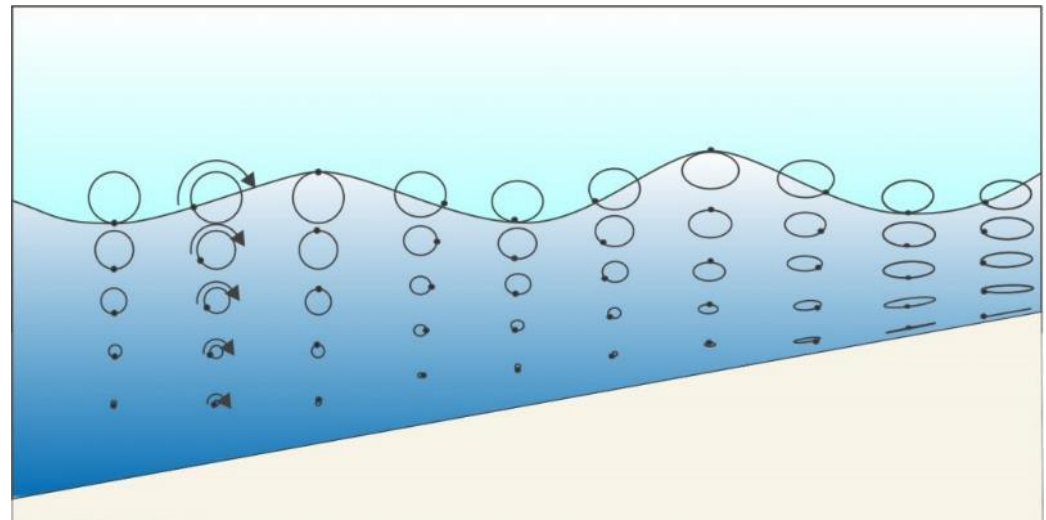
Principi costruttivi elementari

riguardano la scelta dei materiali in funzione della capacità di resistere alle sollecitazioni

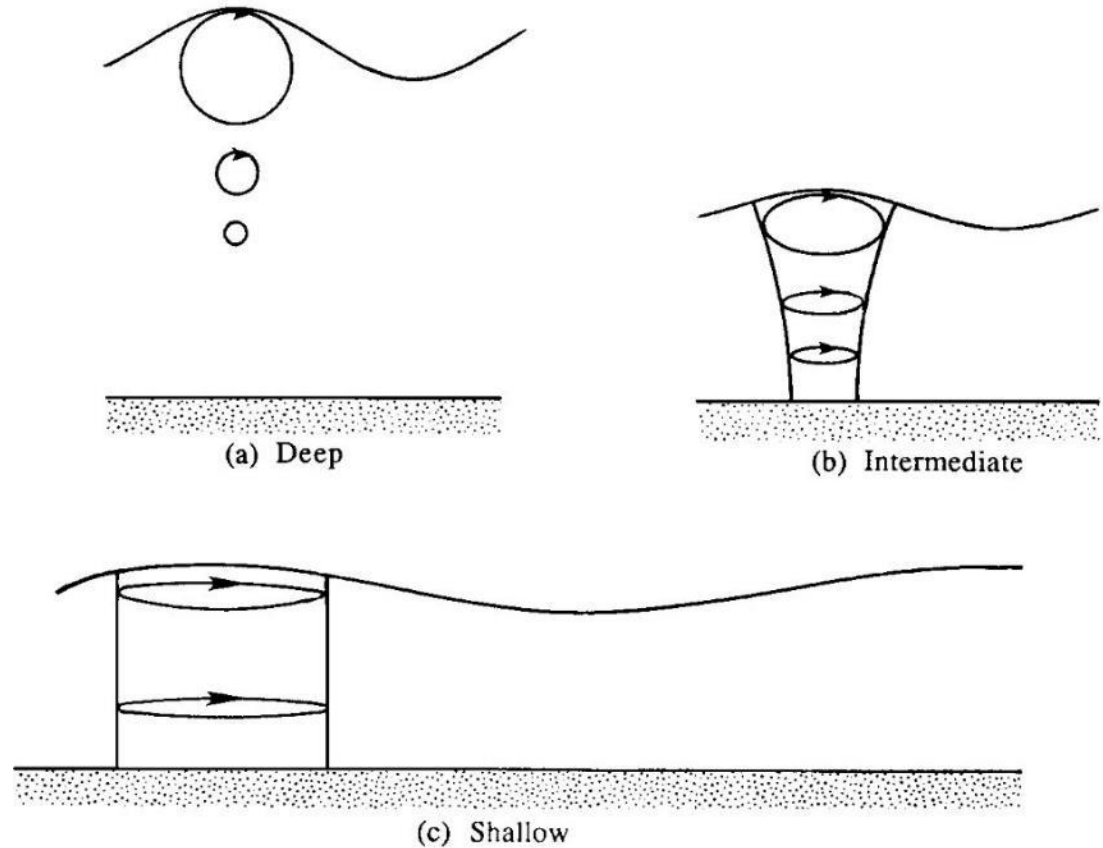
esempio: il pontile in legno e la resistenza a taglio

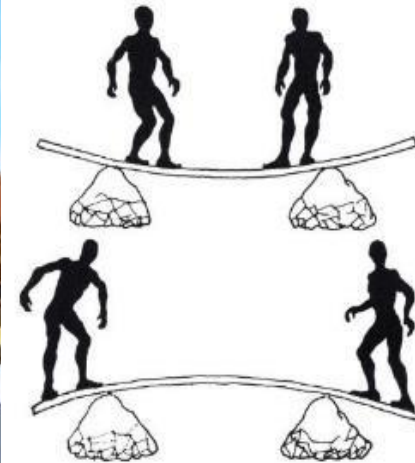
$$\xi = k \cdot \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (z + d)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \left(-\frac{\sin \theta}{\omega} \right)$$

$$\zeta = -k \cdot \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{\sinh[k \cdot (z + d)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \left(\frac{\cos \theta}{\omega} \right)$$

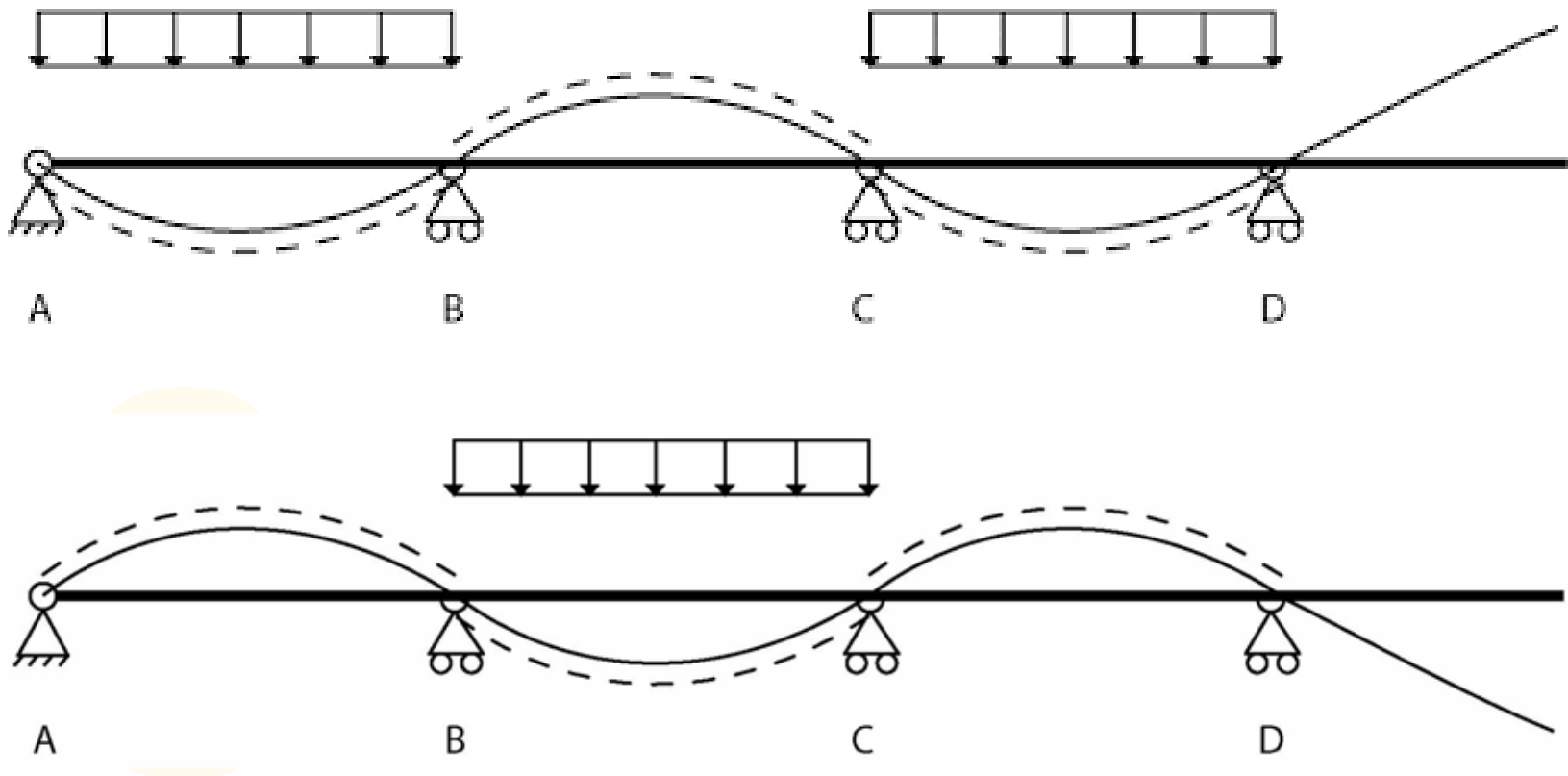


esempio: il pontile in legno e la resistenza a taglio





Principi costruttivi elementari



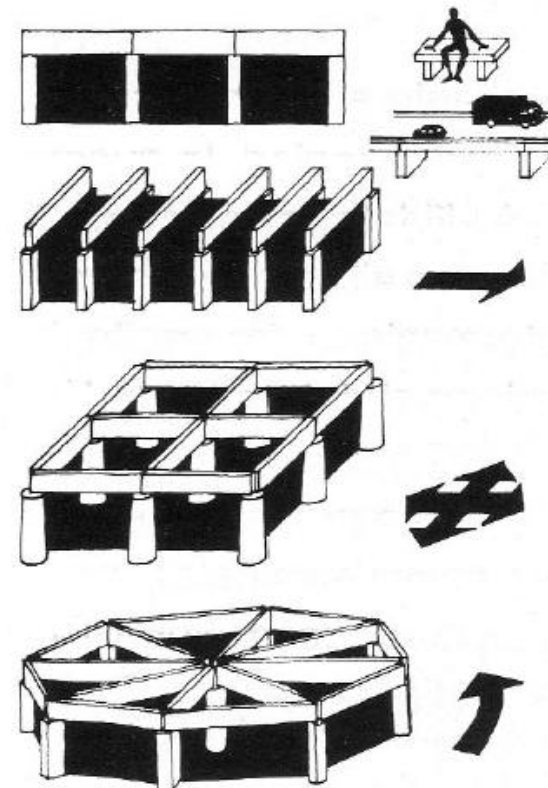
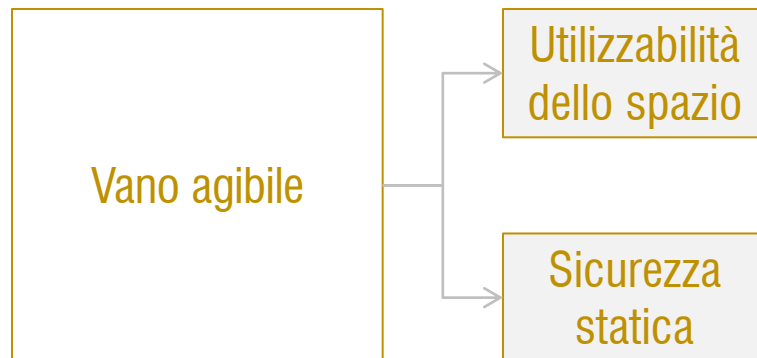
9.3

Principi costruttivi complessi

Principi costruttivi complessi

La **composizione** in **principi costruttivi complessi** genera un modo per **definire** uno **spazio chiuso**, in cui la **capacità** di **resistenza** degli **elementi costruttivi** comporta una **stabilità d'insieme**.

Si definisce allora una matrice nella quale sono posti in relazione la **capacità di resistenza dei materiali** con la definizione di un **vano agibile** il quale, per rotazione o traslazione possa **generare** costruttivamente un **organismo edilizio**.



Principi costruttivi complessi

PRINCIPI COSTRUTTIVI COMPLESSI

9

trilite

telaio

arco

cavo

triangolo

fungo

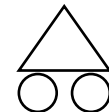
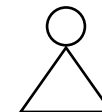
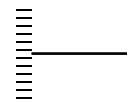
pneumatico

I **principi costruttivi** possono essere **rappresentati** (nel piano) ricorrendo a **schemi** (sui quali è possibile impostare **condizioni d'equilibrio** e valutare **sforzi** e **deformazioni**). Uno schema è costituito da:

- **Elementi lineari o bidimensionali** (rappresentati, ad esempio, tramite la linea d'asse);



- **collegamenti** (a rappresentare il sistema dei vincoli);



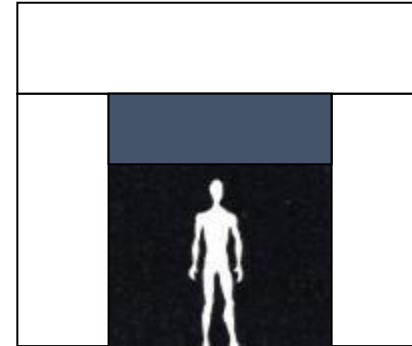
- **azioni** (a rappresentare il sistema di forze).



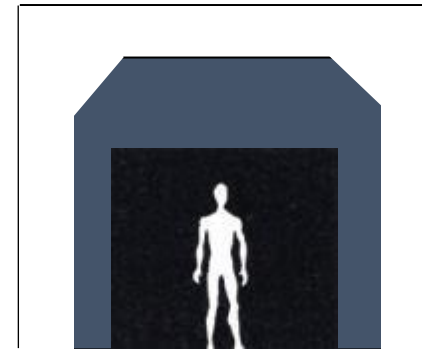
Principi costruttivi complessi

PRINCIPI COSTRUTTIVI COMPLESSI

trilite



telaio



arco



9

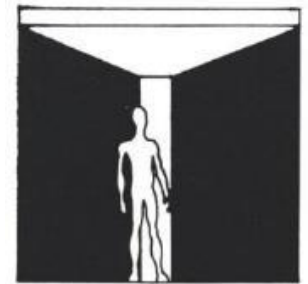
Principi costruttivi complessi

PRINCIPI COSTRUTTIVI COMPLESSI

cavo



triangolo



fungo



pneumatico



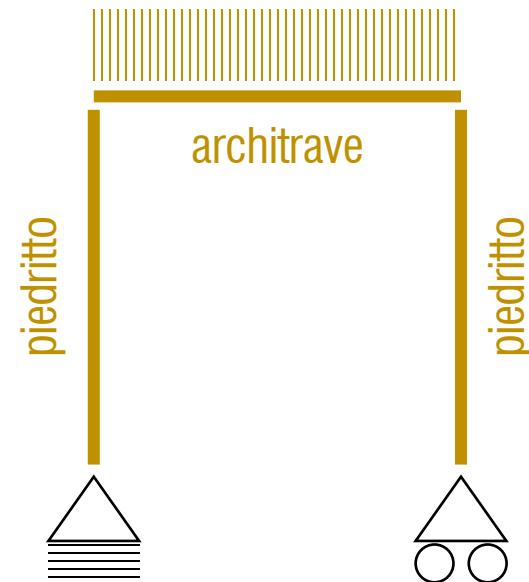
9

Principi costruttivi complessi

TRILITE

Il principio del **trilite** definisce una matrice piana del vano agibile per mezzo di **tre** elementi.

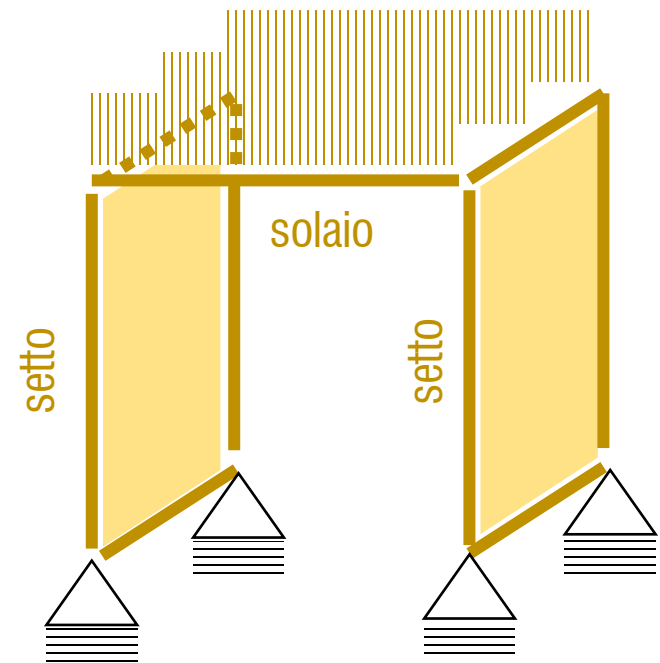
L'**architrave** risulta collegata ai **piedritti** per mezzo di vincoli di **semplice appoggio**.



Principi costruttivi complessi

TRILITE

Mediante il trilito si può generare, per traslazione o rotazione, un'apparecchiatura costruttiva capace di definire compiutamente la matrice piana di piano agibile: il **solaio**, retto da **setti**.



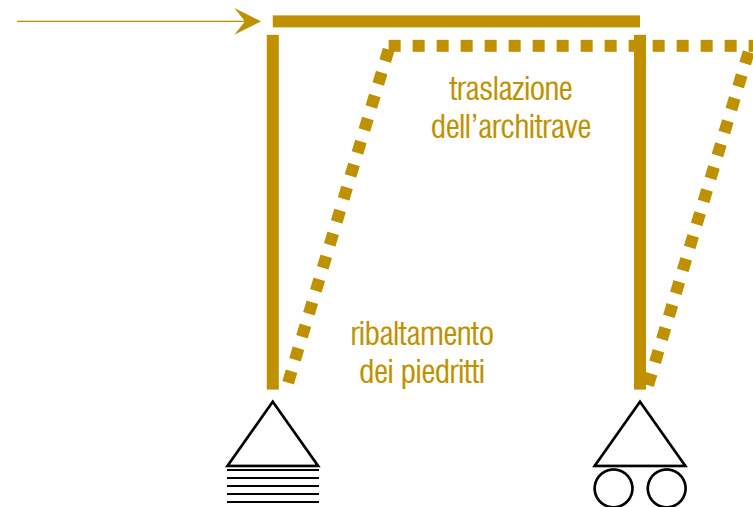
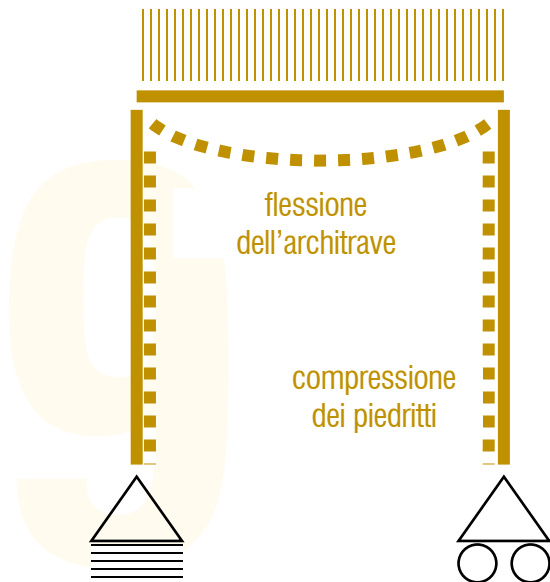
9

Principi costruttivi complessi

TRILITE

Tipicamente:

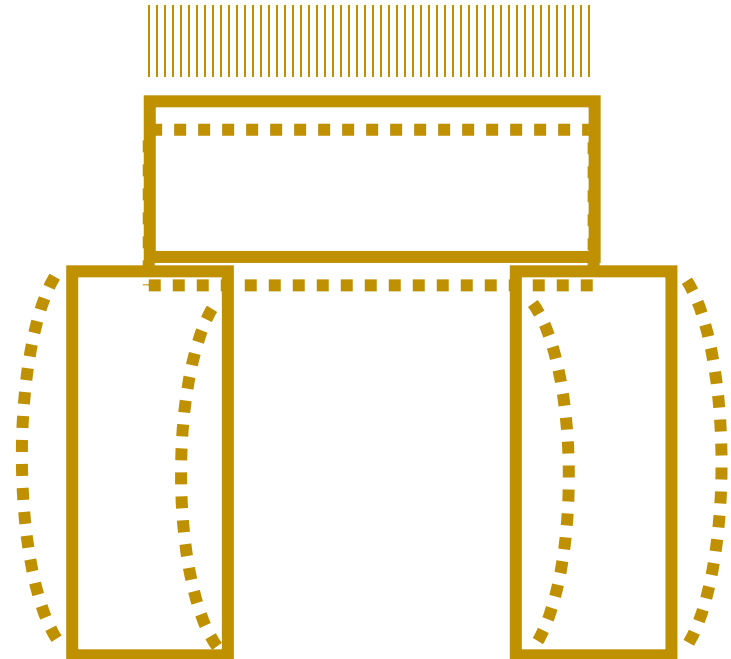
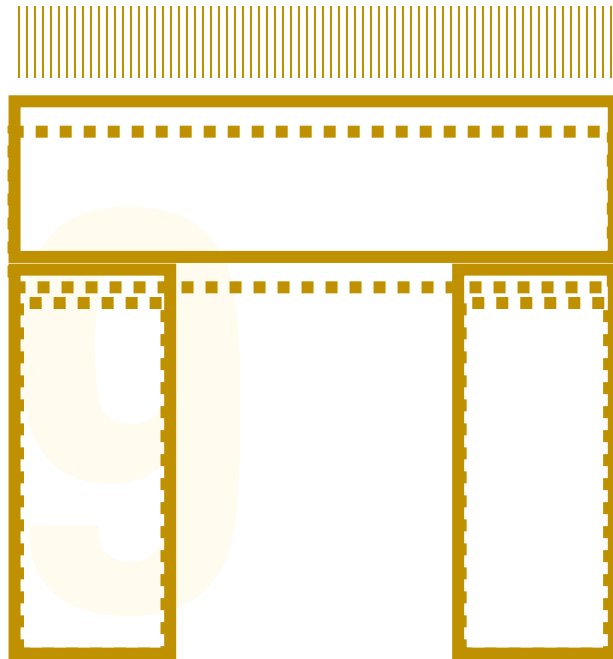
- azioni **verticali** assoggettano l'architrave a **flessione** e i piedritti a **schacciamento**;
- azioni **orizzontali** assoggettano l'architrave a **scorrimento** e i piedritti a **ribaltamento**.



Principi costruttivi complessi

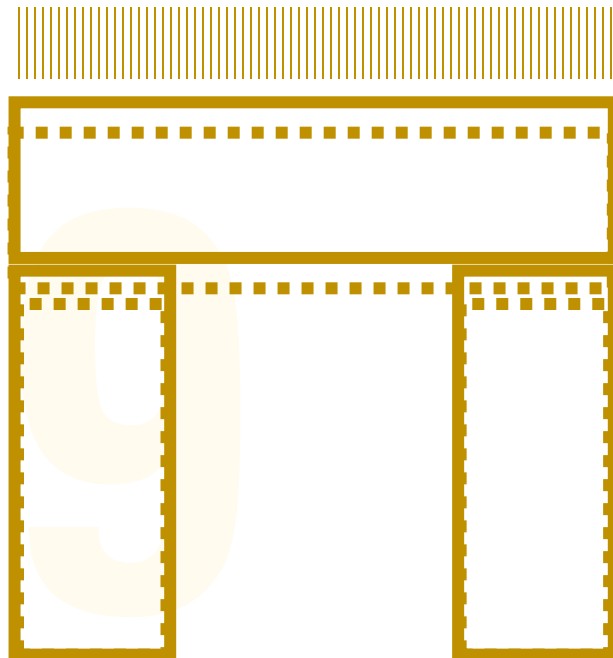
TRILITE

Il comportamento del trilito dipende anche dalle **modalità** di **appoggio** (**connessione**) dell'architrave ai piedritti.



Principi costruttivi complessi

TRILITE

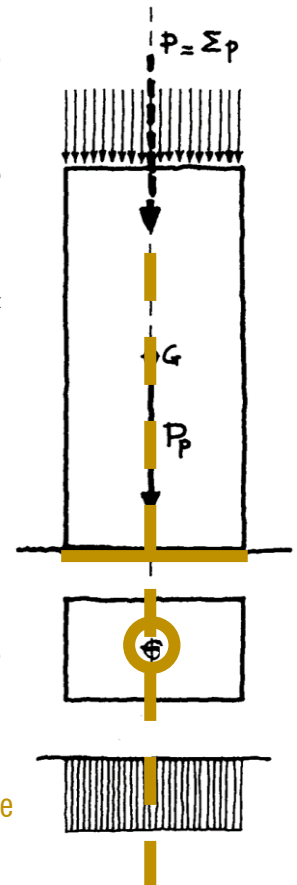


A **schacciamento**, un piedritto si comporta come un parallelepipedo **appoggiato** su un piano rigido, soggetto al **peso proprio** e al **carico trasmesso** dall'architrave.

La stabilità allo schacciamento impone che la pressione unitaria massima (**tensione massima** $\sigma_{\max}$) nella sezione di massima sollecitazione (alla base) sia inferiore a quella **ammissibile** $\sigma_{\max}$ del materiale costituente il piedritto:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{amm}} = \sigma_{\text{rott}} / n$$

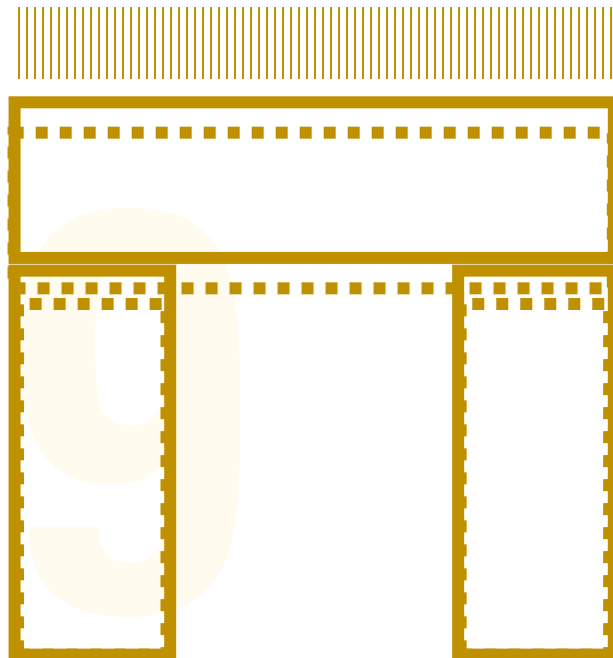
Determinata riducendo la **tensione** di **rottura** del materiale di un coefficiente di sicurezza n .



tensione normale

Principi costruttivi complessi

TRILITE

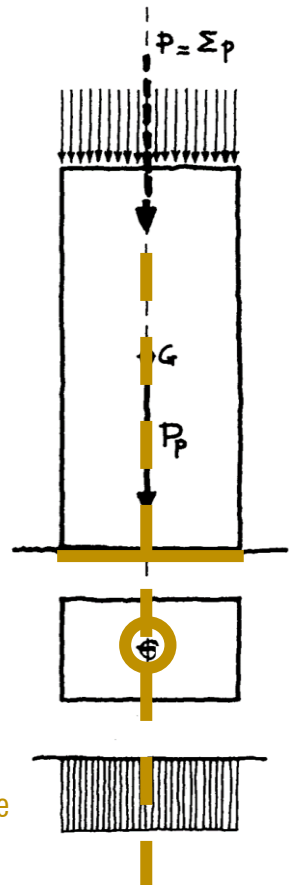


Lo **schacciamento** si concretizza nella sezione di base nel centro di pressione, intersezione con la **retta d'azione** della **risultante** P_{tot} di **peso proprio** e **carico** dovuto all'architrave, punto coincidente con il **baricentro** della sezione.

Con la formula:

$$\sigma = P_{tot} / A$$

si individua la **tensione** dovuta alla compressione del piedritto, il cui valore è costante su tutta la sezione d'appoggio di area A .



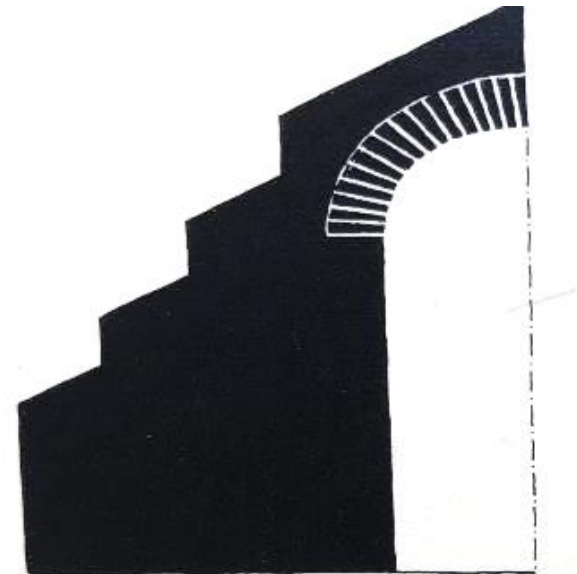
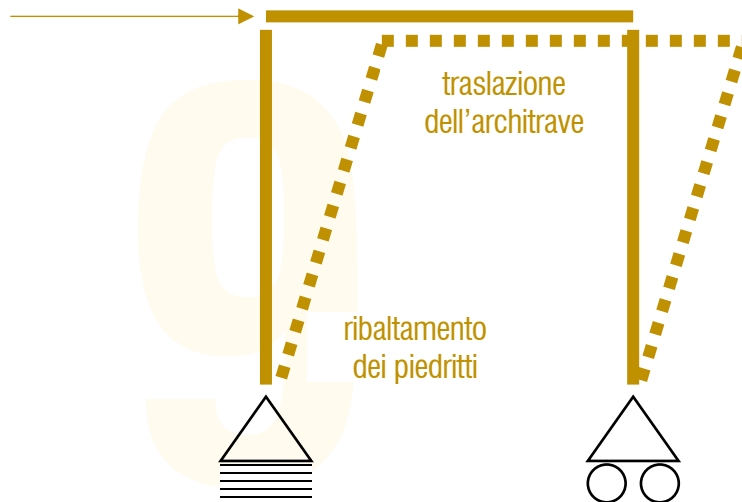
tensione normale

Principi costruttivi complessi

TRILITE

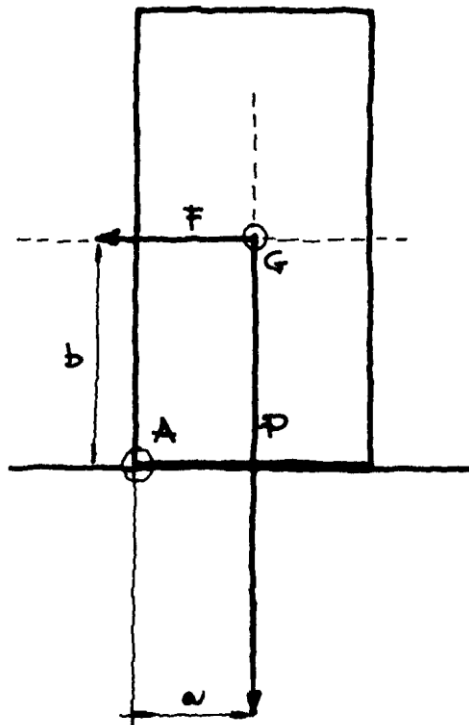
Nel ricercare la stabilità dei piedritti al **ribaltamento** si applica il **criterio delle resistenze passive**, consistente nel contrastare il ribaltamento stesso:

- **aumentando** il **peso proprio** del piedritto;
- applicandovi dei **ricarichi**;
- **riducendo** il **valore della forza** che lo provoca;
- **incrementando** la **distanza** tra la retta d'azione dei pesi e il **punto** in cui si innescia la **rotazione**.



Principi costruttivi complessi

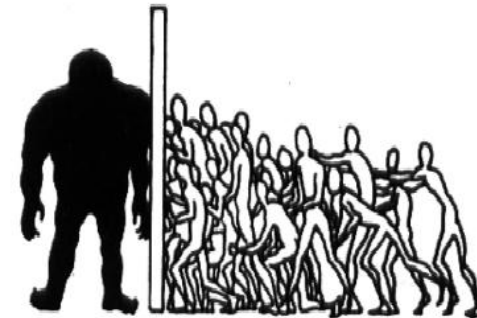
TRILITE



Nel ricercare la stabilità dei piedritti al **ribaltamento** si applica il **criterio delle resistenze passive**, consistente nel contrastare il ribaltamento stesso:

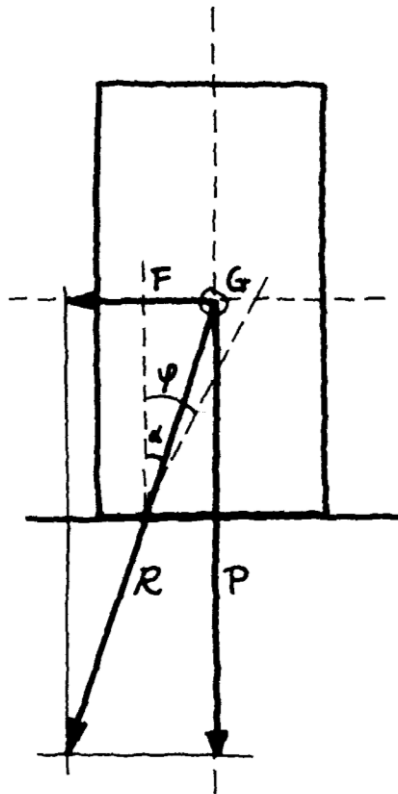
- **aumentando** il **peso proprio** del piedritto;
- applicandovi dei **ricarichi**;
- **riducendo** il **valore della forza** che lo provoca;
- **incrementando** la **distanza** tra la retta d'azione dei pesi e il **punto** in cui si innesci la **rotazione**.

$$M_{stab} = P \cdot a > M_{rib} = F \cdot b$$



Principi costruttivi complessi

TRILITE



Per impedire lo scorrimento sul piano d'appoggio, la retta d'azione della risultante di tutte le forze agenti deve formare con la verticale un angolo inferiore a quello d'attrito tra il solido e il piano d'appoggio.

Ipotizzando due risultanti, una forza verticale P e una forza orizzontale F , questa tenderà a far scorrere il solido sul piano; ad essa si oppone la forza d'attrito derivante da P .

L'**equilibrio** allo scorrimento si ottiene se:

$$f_a \cdot P = \tan \varphi \cdot P > F$$

dove f_a è la tangente trigonometrica dell'angolo d'attrito φ che dipende dalle caratteristiche delle superfici di contatto.

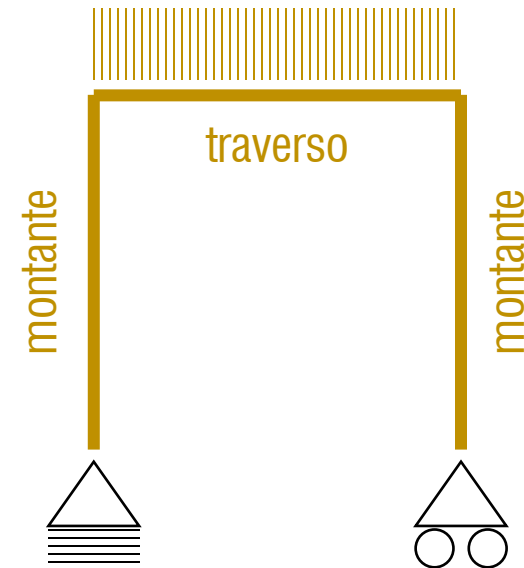
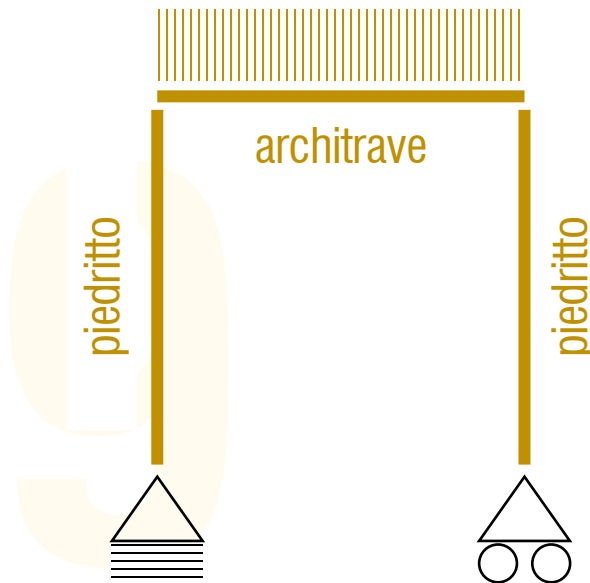
Per aumentare il valore del primo membro è necessario adottare **superfici** di contatto più **scabre**, oppure **incrementare il peso del piedritto**.

Principi costruttivi complessi

TELAIO

Il principio del **telaio** definisce una matrice piana del vano agibile per mezzo di **tre** elementi sovrapposti, tra i quali è presente un vincolo di continuità (**incastro**).

Se nel trilito, all'appoggio dell'architrave sui piedritti si trasmettono soltanto forze, nel telaio, agli **incastri** fra traverso e montanti si trasmettono anche dei **momenti flettenti**, oltre alle forze.

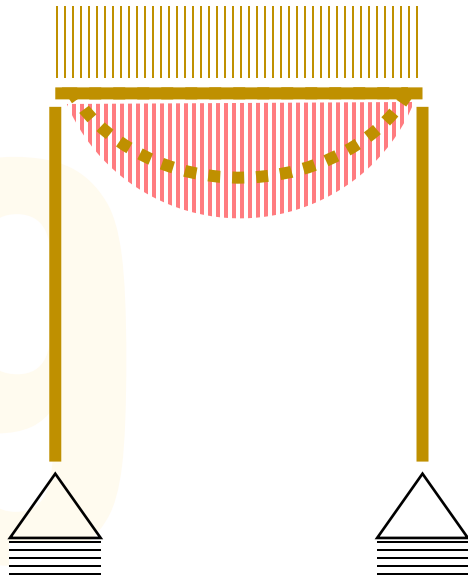


Principi costruttivi complessi

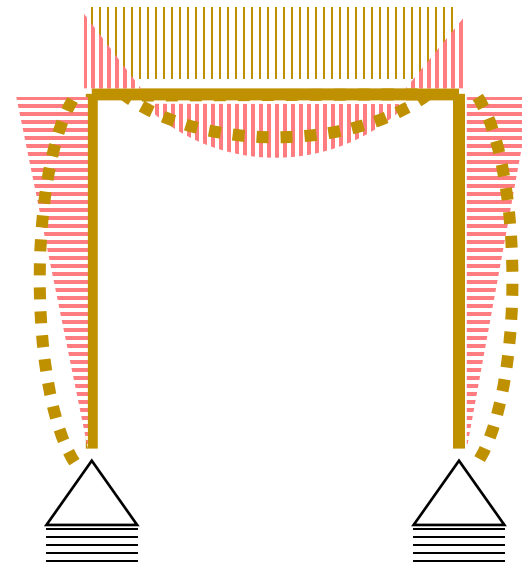
TELAIO

Tra trilitte e telaio, dunque, si manifestano diversi diagrammi delle sollecitazioni e, conseguentemente, diverse deformate.

Schema appoggio - appoggio



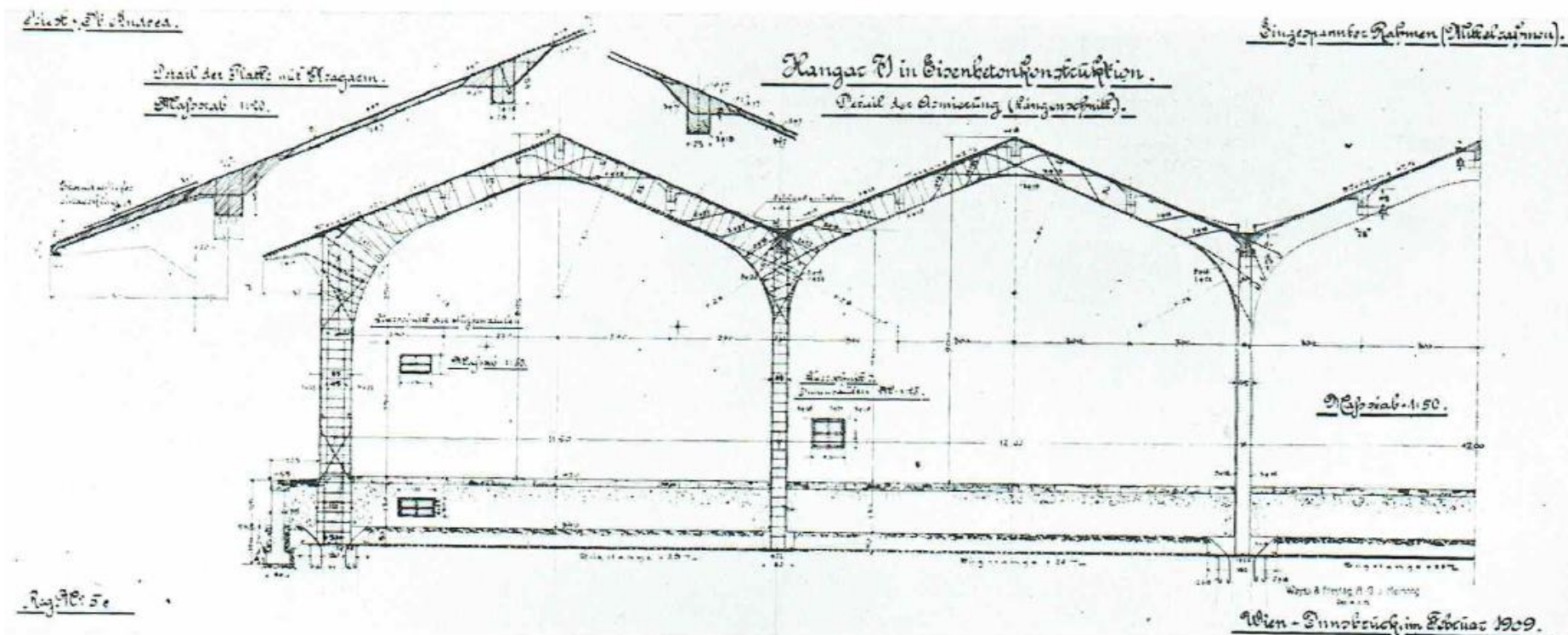
Schema incastro - incastro



Principi costruttivi complessi

TELAIO

Disegno esecutivo per la costruzione dei Magazzini 55 e 58 nel Porto Nuovo di Trieste, progettati dall'ing. Odorico secondo il sistema Hennebique (1909)

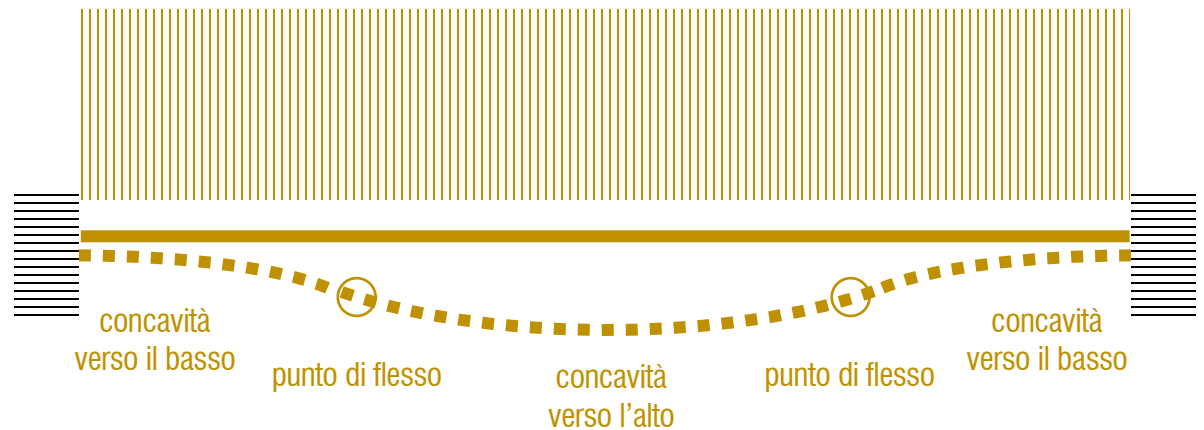


Principi costruttivi complessi

TELAIO

Tipicamente:

- azioni **verticali** assoggettano il traverso a **flessione** e i piedritti a **pressoflessione**;
- azioni **orizzontali** assoggettano traverso e piedritti a **flessione**.



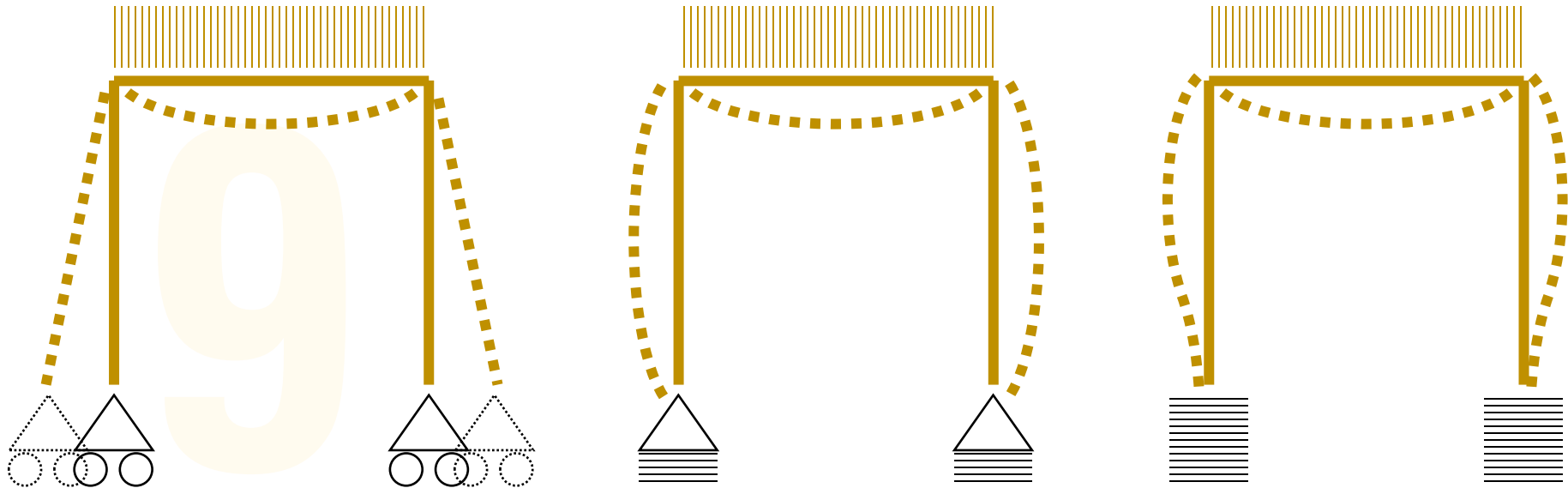
9

Principi costruttivi complessi

TELAIO

Tipicamente:

- azioni **verticali** assoggettano il traverso a **flessione** e i piedritti a **pressoflessione**;
- azioni **orizzontali** assoggettano traverso e piedritti a **flessione**.

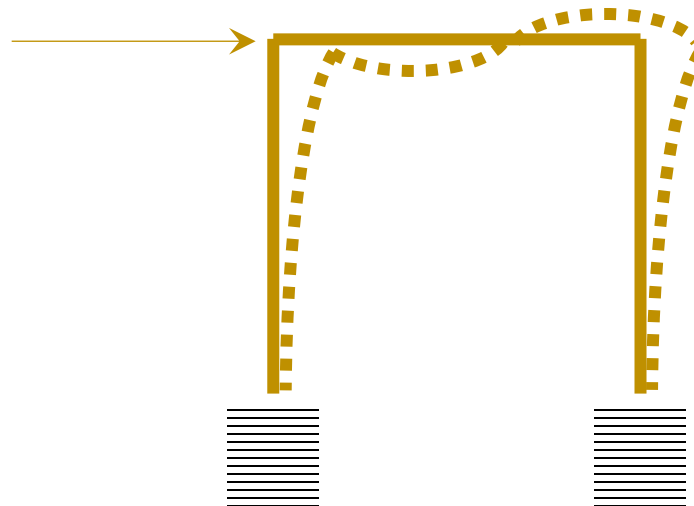


Principi costruttivi complessi

TELAIO

Tipicamente:

- azioni **verticali** assoggettano il traverso a **flessione** e i piedritti a **pressoflessione**;
- azioni **orizzontali** assoggettano traverso e piedritti a **flessione**.



Principi costruttivi complessi

TELAIO

Tipicamente:

- azioni **verticali** assoggettano il traverso a **flessione** e i piedritti a **pressoflessione**;
- azioni **orizzontali** assoggettano traverso e piedritti a **flessione**.

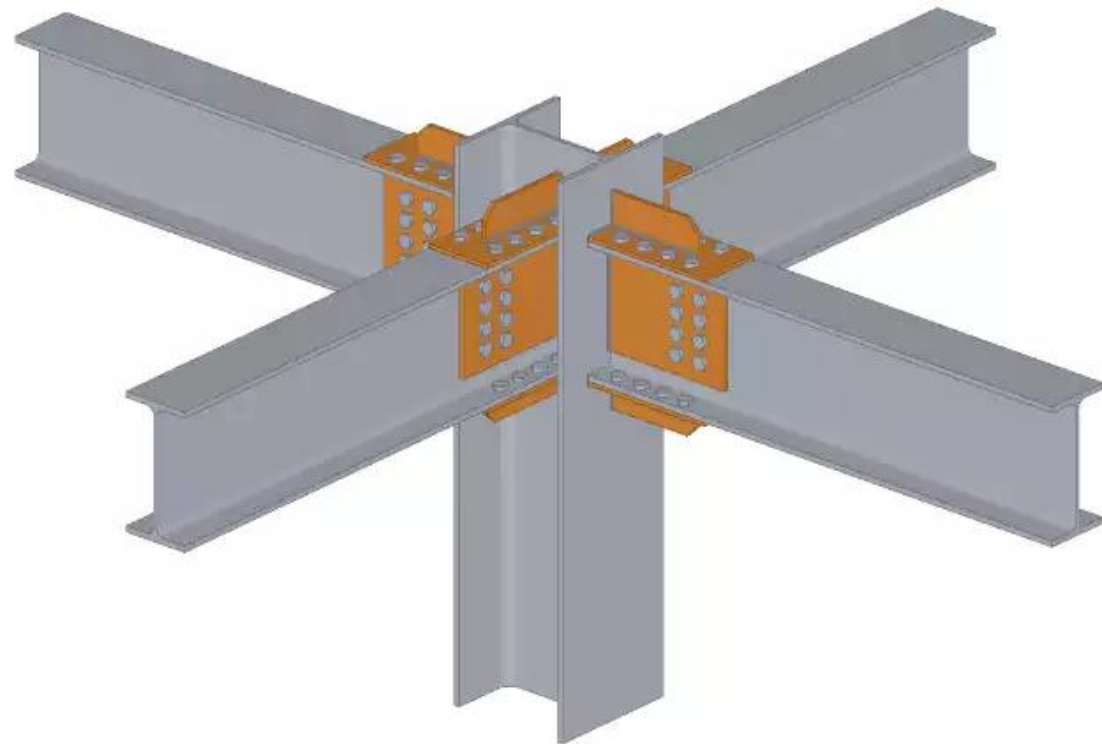


Irrigidimento dei nodi
montanti - traverso



Principi costruttivi complessi

TELAIO

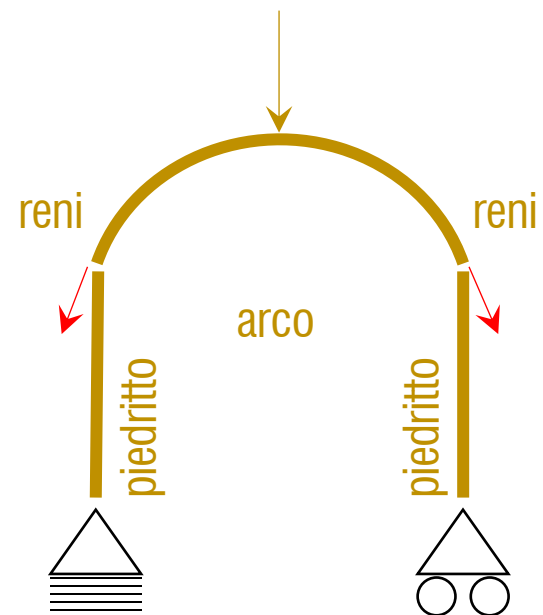
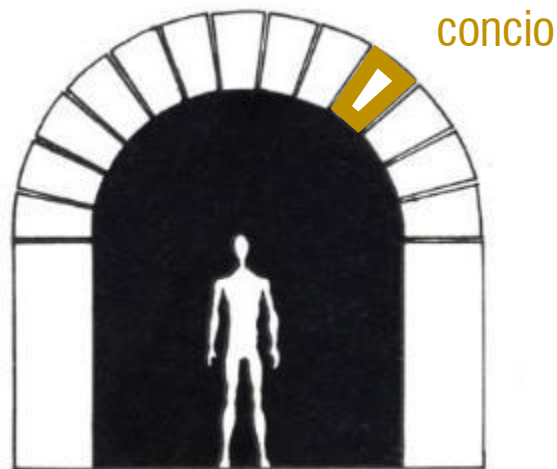


9

Principi costruttivi complessi

ARCO

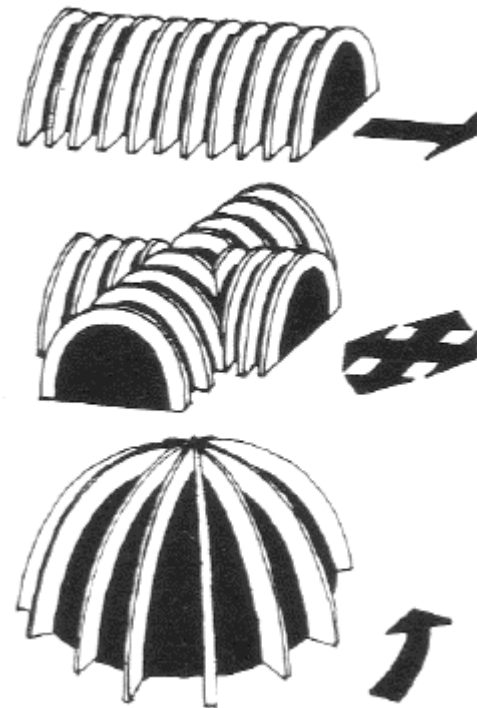
Il principio costruttivo dell'**arco** definisce una matrice piana del vano agibile per mezzo di **tre** elementi sovrapposti, due **piedritti** su cui **si appoggia** un elemento ad **arco**, costituito da elementi omogenei che, per **geometria**, innescano un meccanismo di stabilità basato sul loro **mutuo contrasto**.



Principi costruttivi complessi

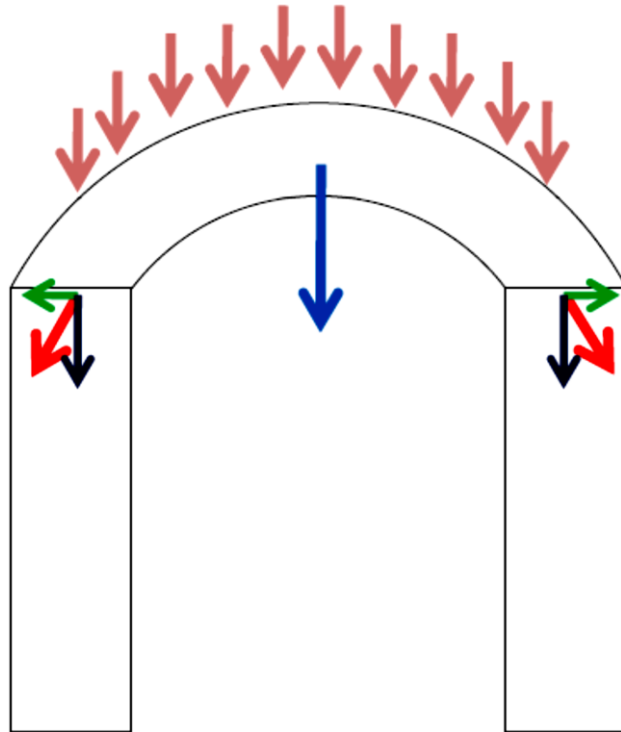
ARCO

L'arco può generare forme di maggiore complessità per traslazione (**volte a botte**, **volte a crociera**) o per rotazione (**cupole**).



Principi costruttivi complessi

ARCO



In un arco soggetto a sola **sollecitazione verticale**, i piedritti sono soggetti tanto a **compressione** quanto ad **azioni orizzontali**, queste ultime derivanti dalla **spinta** dell'arco espressa **all'altezza delle reni**.

L'equilibrio ai **piedritti** si verifica se:

- la risultante dei carichi **cade all'interno** della **base** d'appoggio;
- la **pressione unitaria massima** è **inferiore** al **carico di rottura** del **materiale** costituente il piedritto, ridotto di un opportuno coefficiente di sicurezza;
- lo **scorrimento** è **impedito**.

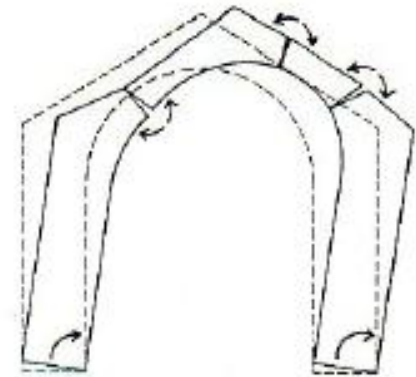
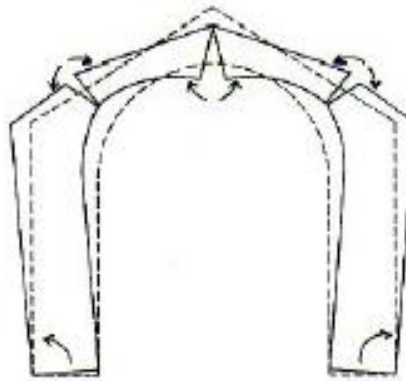
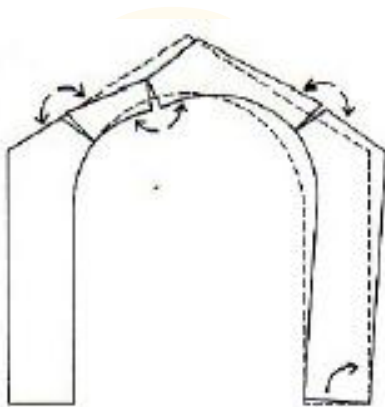


Principi costruttivi complessi

ARCO

L'arco manifesta potenziali punti di rottura alle reni, individuati secondo tre possibili meccanismi:

- il **ribaltamento** del **piedritto**;
- la **rottura a flessione** con formazione di cerniere plastiche;
- la **rottura** sotto un'**azione orizzontale**.



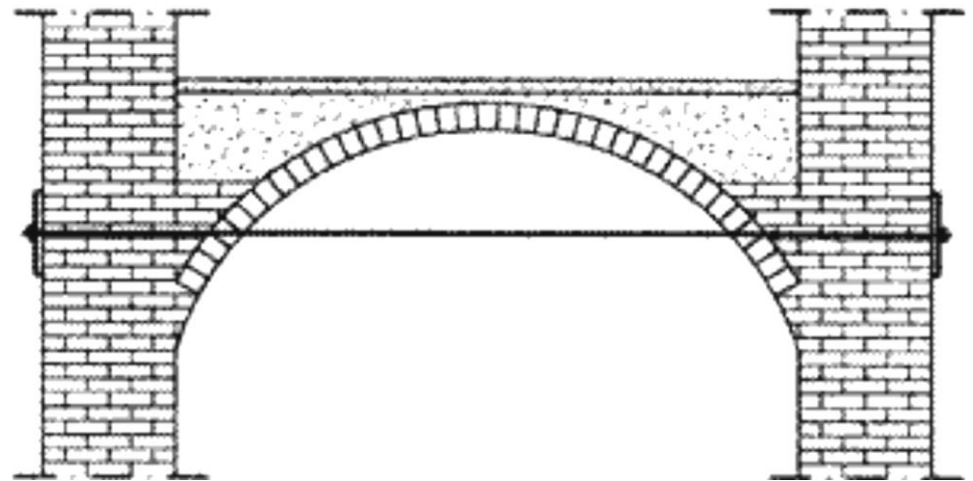
Principi costruttivi complessi

ARCO

La **sezione** dei **piedritti** deve quindi essere tale da **contrastare** la **spinta dell'arco**.

Se ciò non avviene, è necessario:

- **eliminare** la **spinta** inserendo delle **catene**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze passive**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze attive** (controspinte).



9

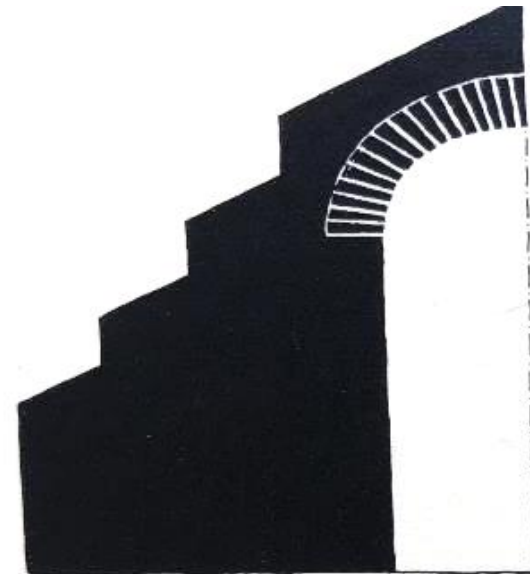
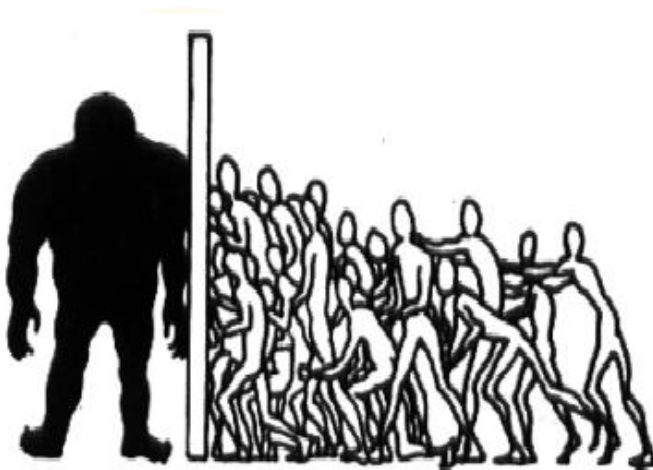
Principi costruttivi complessi

ARCO

La **sezione** dei **piedritti** deve quindi essere tale da **contrastare** la **spinta dell'arco**.

Se ciò non avviene, è necessario:

- **eliminare** la **spinta** inserendo delle **catene**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze passive**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze attive** (controspinte).



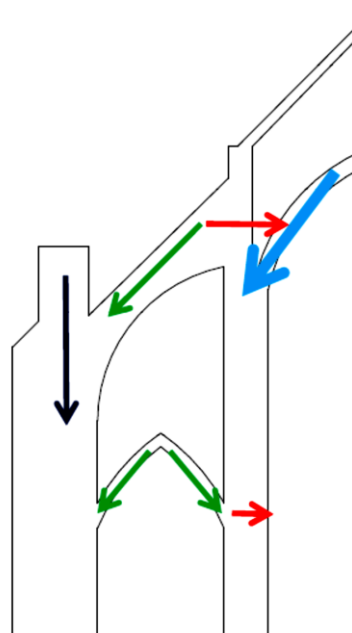
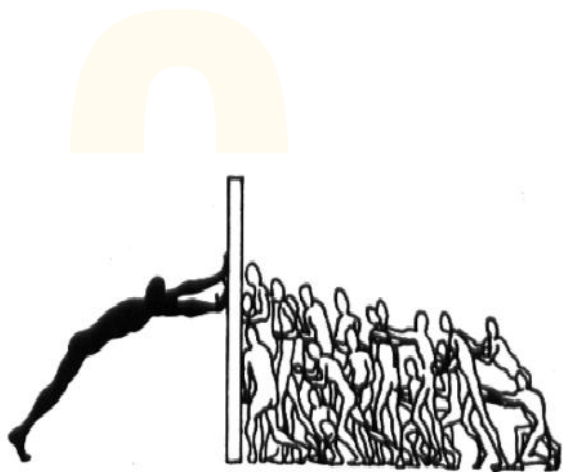
Principi costruttivi complessi

ARCO

La **sezione** dei **piedritti** deve quindi essere tale da **contrastare** la **spinta dell'arco**.

Se ciò non avviene, è necessario:

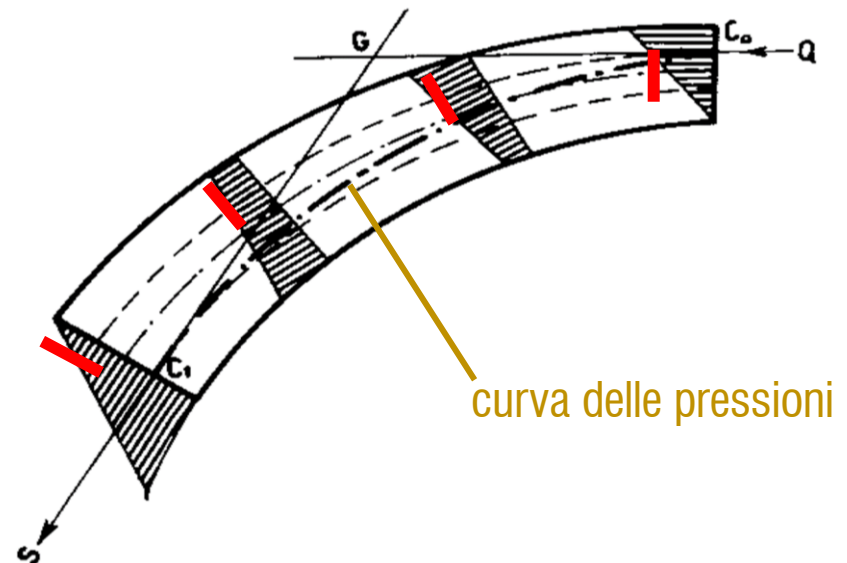
- **eliminare** la **spinta** inserendo delle **catene**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze passive**;
- ricorrere al **criterio delle resistenze attive** (controspinte).



Principi costruttivi complessi

ARCO

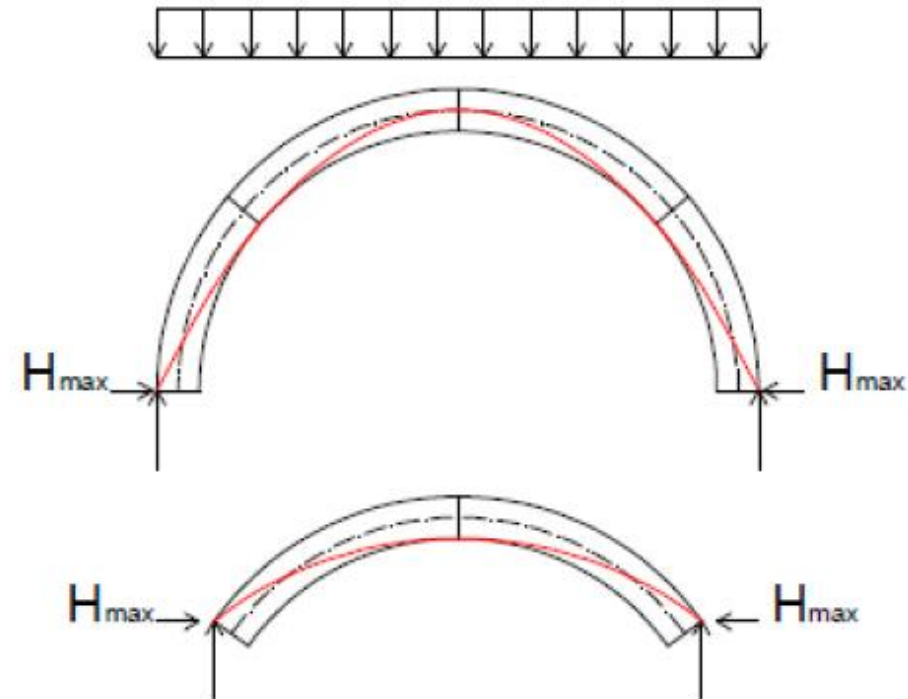
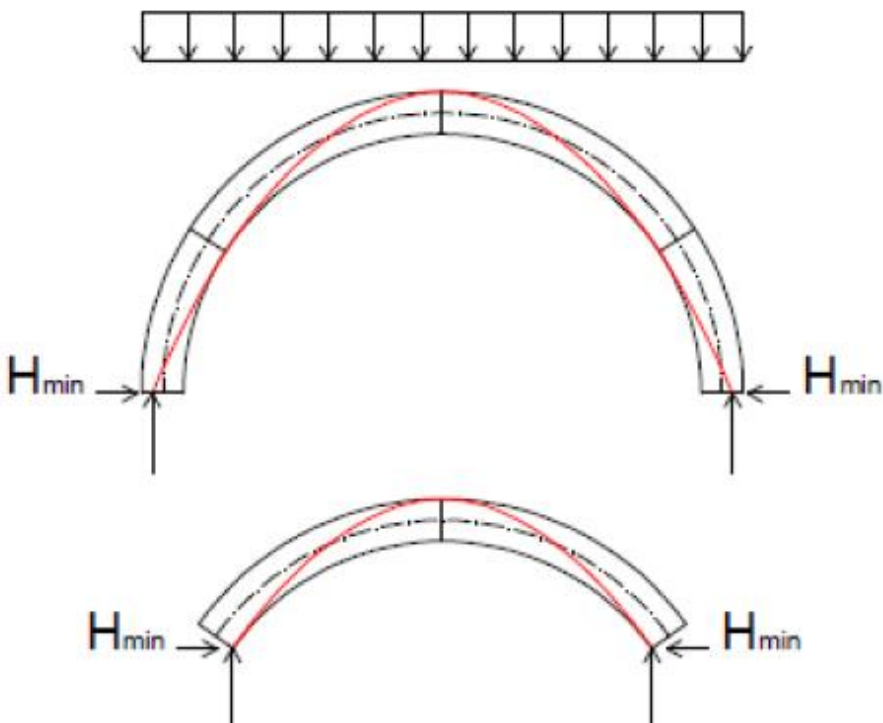
Poiché solo la **resistenza a compressione** può essere contemplata, la **forma dell'arco** deve far sì che **in ogni sezione** (ad esempio, le facce dei conci) la **risultante** dei carichi applicati **cada entro il terzo medio** della sezione (detto **nocciolo centrale di inerzia**); inoltre, in ogni sezione il carico di rottura a compressione non sia superato.



Principi costruttivi complessi

ARCO

La **curva delle pressioni**, ossia il luogo dei punti in cui risulta applicata la pressione in ciascuna sezione dell'arco (pressione dovuta ai carichi applicati ed al peso proprio), deve essere ovunque **interna** allo **spessore dell'arco**.



Principi costruttivi complessi

46

ARCO

9

Gateway Arch, St. Louis (MO)



ARCO

9

Hala Targowa, Wrocław (PL)

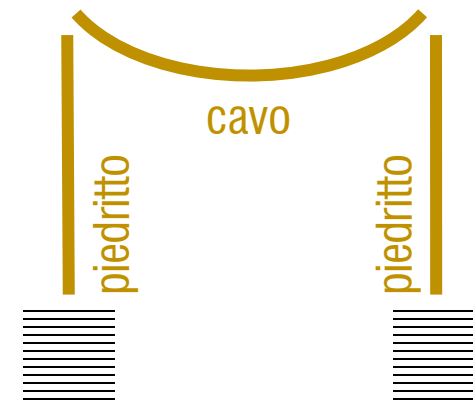


Principi costruttivi complessi

CAVO

Il principio costruttivo del **cavo** definisce una matrice piana del vano agibile per mezzo un **elemento privo di rigidità flessionale**, poggianti su **due piedritti**.

Il **cavo** deve possedere resistenza meccanica a **trazione** sotto l'azione dei **carichi** applicati e del **peso proprio**, mentre i **piedritti** devono essere verificati a **pressoflessione** e **ribaltamento** sotto l'azione orizzontale dovuta al cavo.



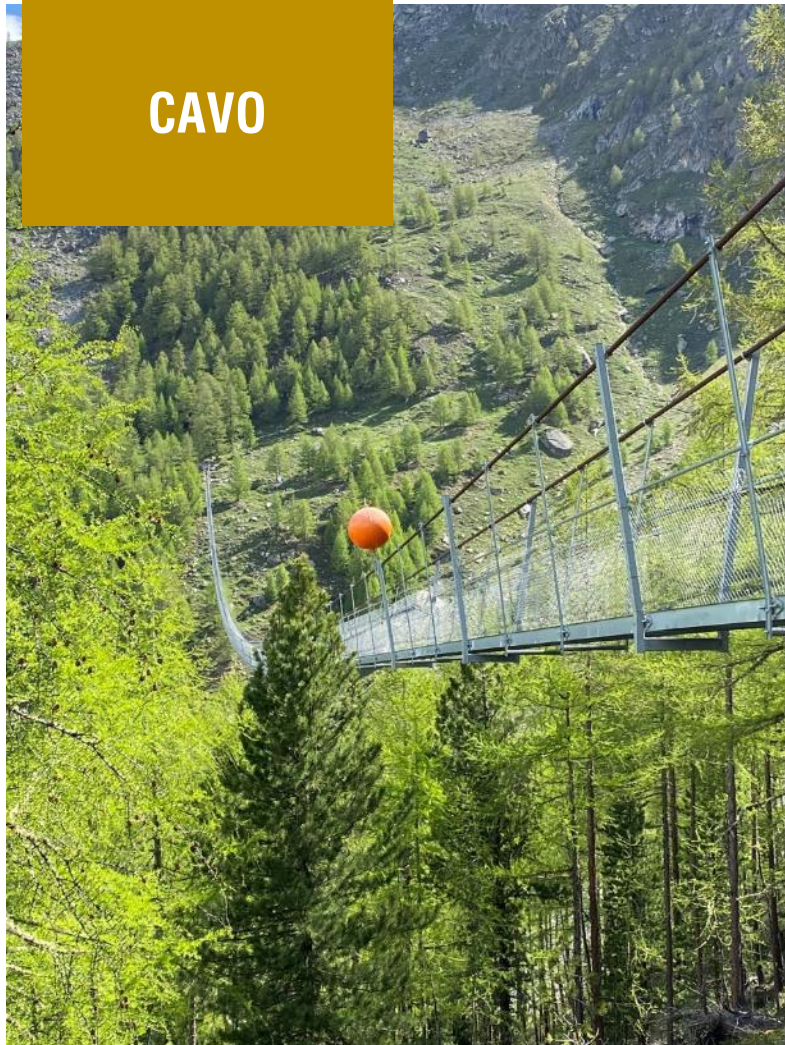
Principi costruttivi complessi

Millennium bridge, London
1999



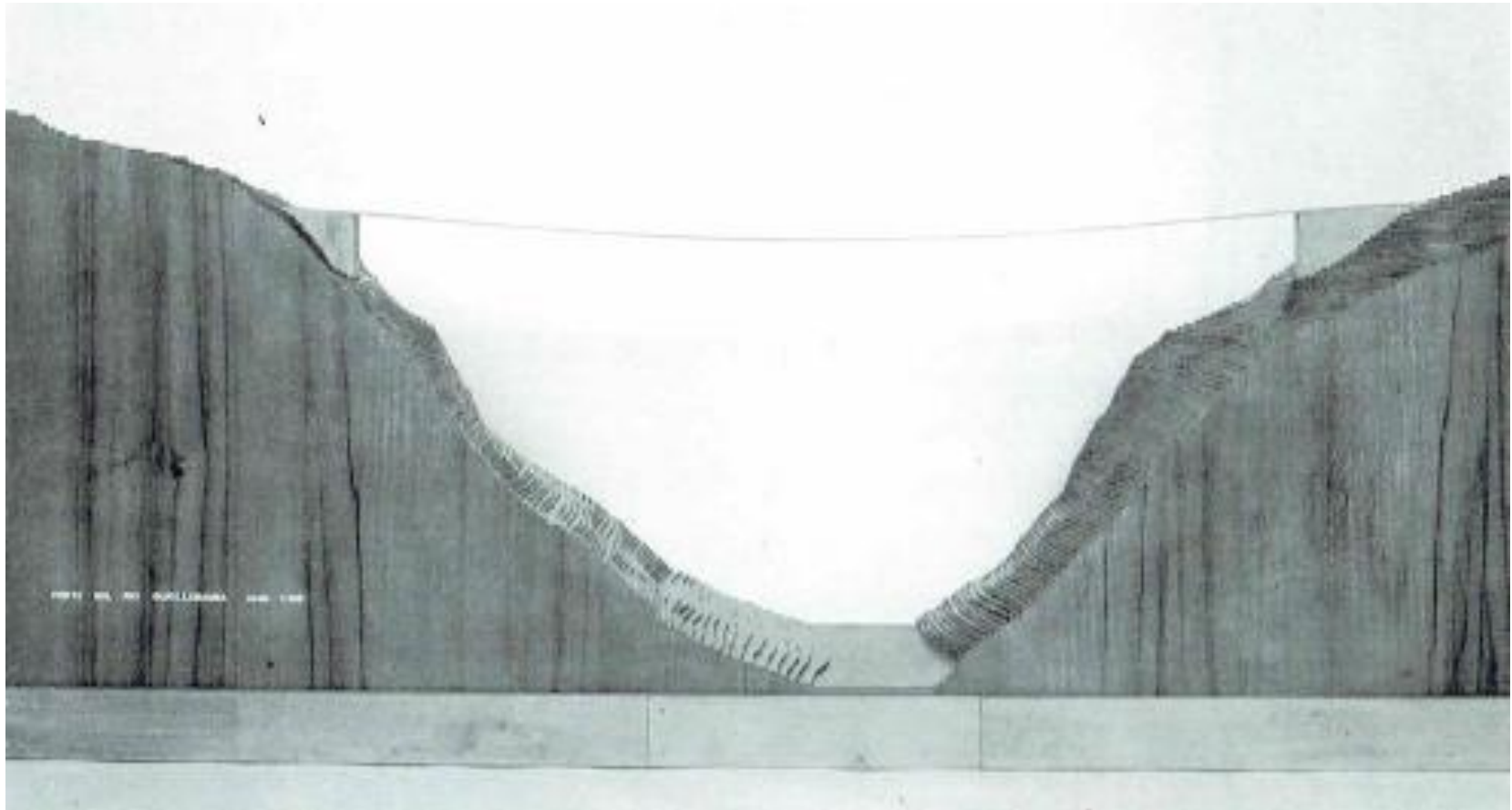
Principi costruttivi complessi

CAVO



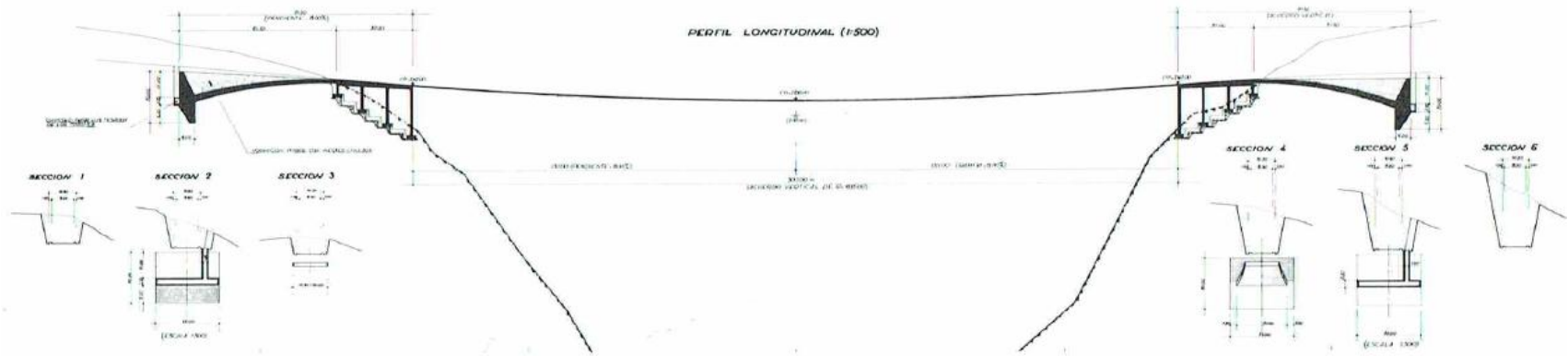
Principi costruttivi complessi

Progetto per un ponte sul Rio Guayllabamba, Ecuador
Silvano Zorzi, 1968



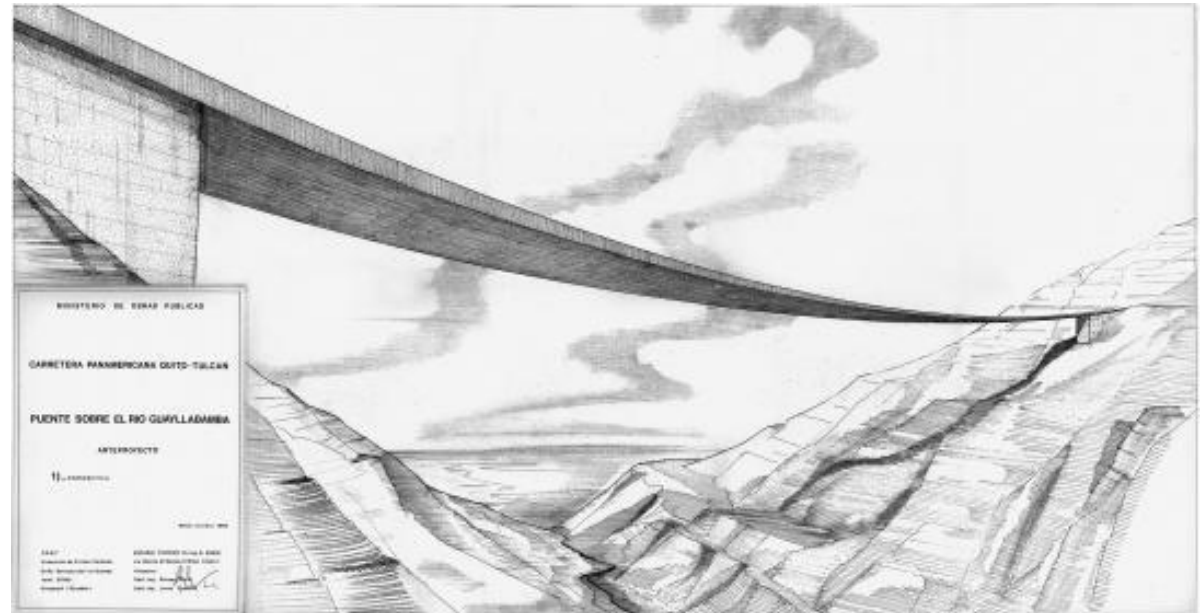
Principi costruttivi complessi

52



9

Progetto per un ponte sul
Rio Guayllabamba, Ecuador
Silvano Zorzi, 1968



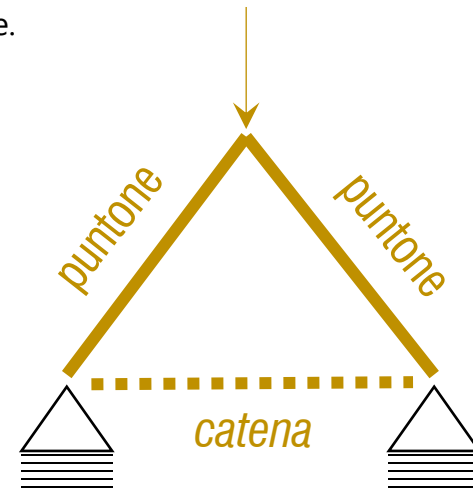
Principi costruttivi complessi

TRIANGOLO



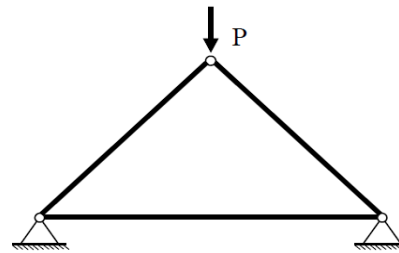
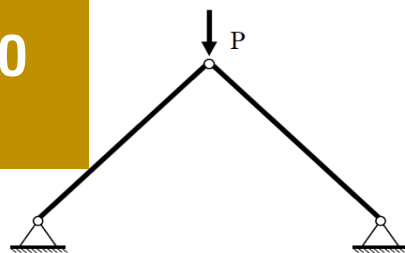
Il principio costruttivo del **triangolo** definisce una matrice piana del vano agibile sulla base di due elementi inclinati, contrapposti (**puntoni**) che determinano una configurazione a triangolo.

Il carico verticale sul nodo superiore **comprime** i **puntoni**, mentre la **catena** (o **tirante**, se presente) risulta soggetta a **trazione**. La struttura a triangolo dunque, tramuta una potenziale **sollecitazione** di tipo **flessionale** in **sollecitazioni normali** di trazione e compressione.

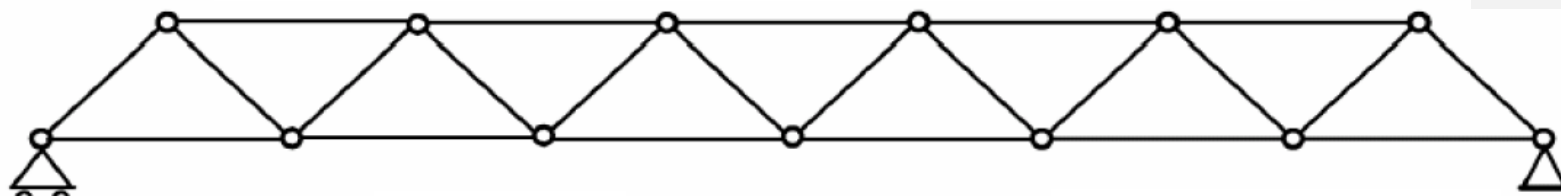


Principi costruttivi complessi

TRIANGOLO

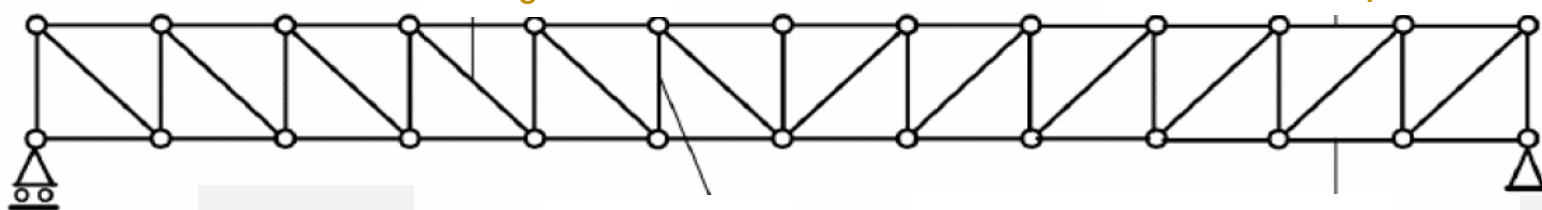


Warren



diagonale

corrente superiore

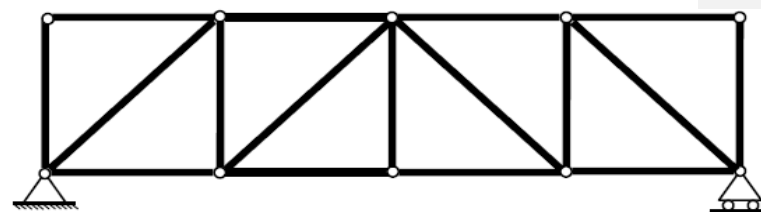
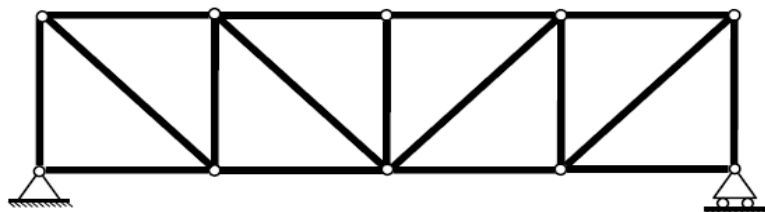


Mohrié

montante

corrente inferiore

Howe



Principi costruttivi complessi

55

TRIANGOLO

?



Principi costruttivi complessi

FUNGO

In questo caso, la matrice piana del vano agibile è determinata da un elemento verticale (**ritto**) che sorregge un elemento orizzontale ad aggetto, detto **cappello**.

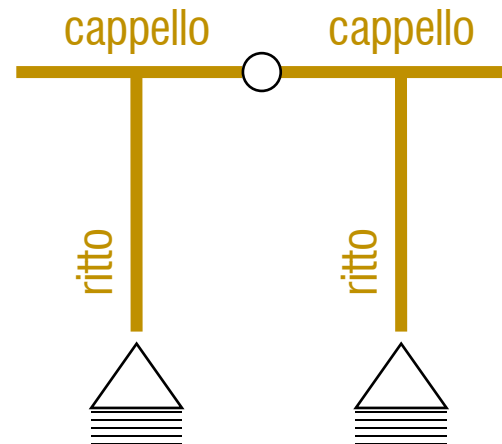
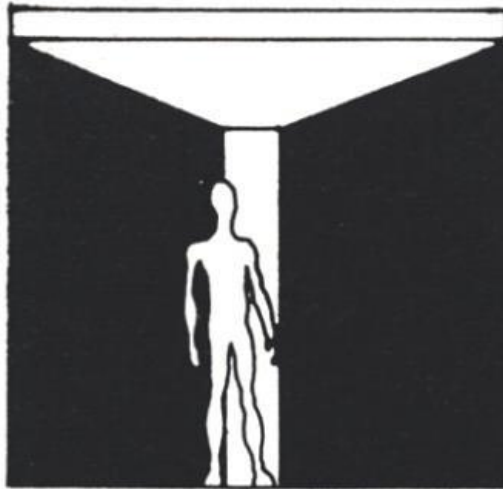
Il vincolo a terra può essere un **incastro** (fungo singolo) oppure una **cerniera** (due sistemi adiacenti).



Principi costruttivi complessi

FUNGO

La struttura a fungo, dunque, richiede una verifica a **pressoflessione** del ritto e quella a **flessione** della tesa del cappello.



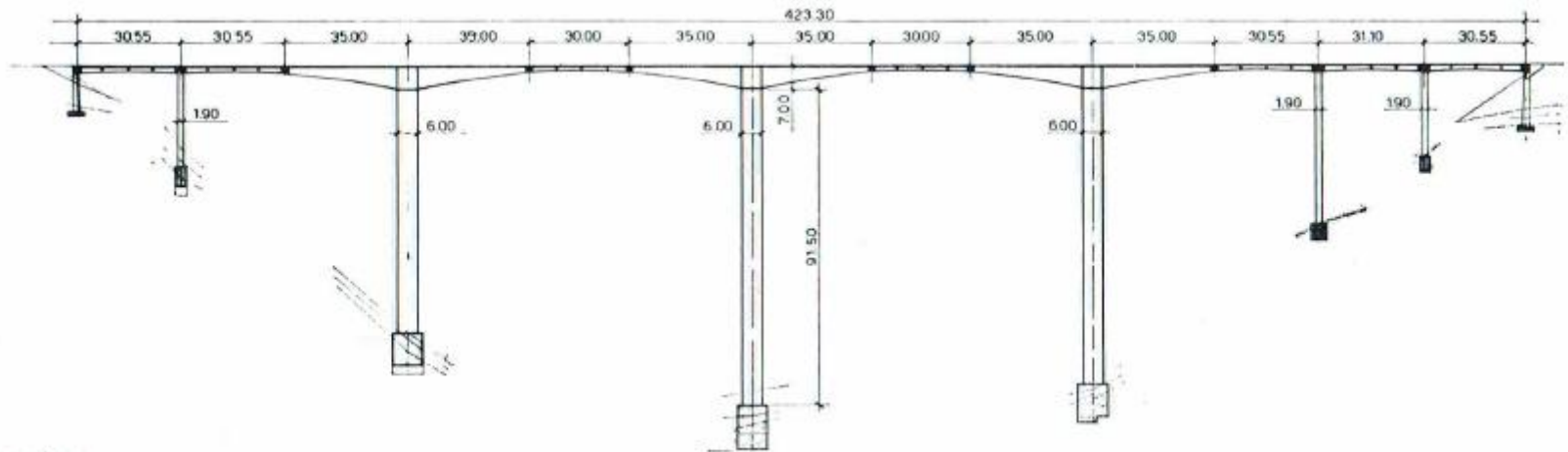
Principi costruttivi complessi

FUNGO

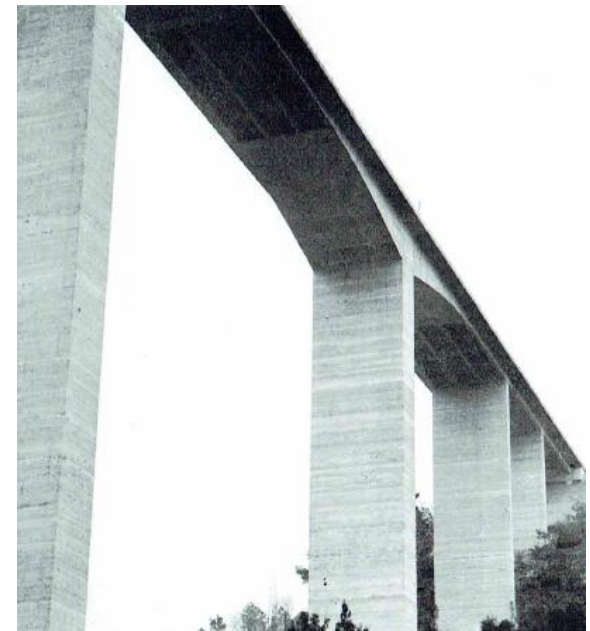


Principi costruttivi complessi

59



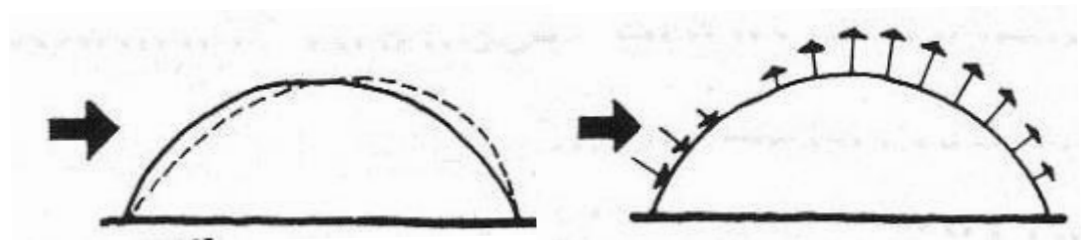
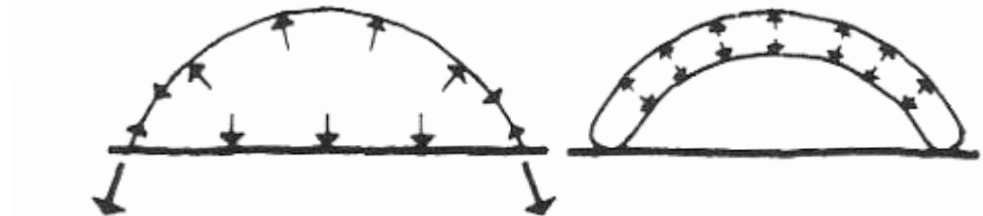
Viadotto sul torrente Nervi,
autostrada Genova – Sestri L.
Silvano Zorzi, 1963-65



Principi costruttivi complessi

PNEUMATICO

La matrice piana del vano agibile, secondo il principio dello pneumatico, è determinata da un **elemento unico, sprovvisto di rigidità flessionale**, sostenuto dalla pressione dell'aria. L'involucro dell'elemento è quindi sollecitato a **trazione**, mentre la capacità di resistenza è offerta dalla pressione dell'aria e dalla forma che questa dà all'involucro.



Principi costruttivi complessi

61

PNEUMATICO

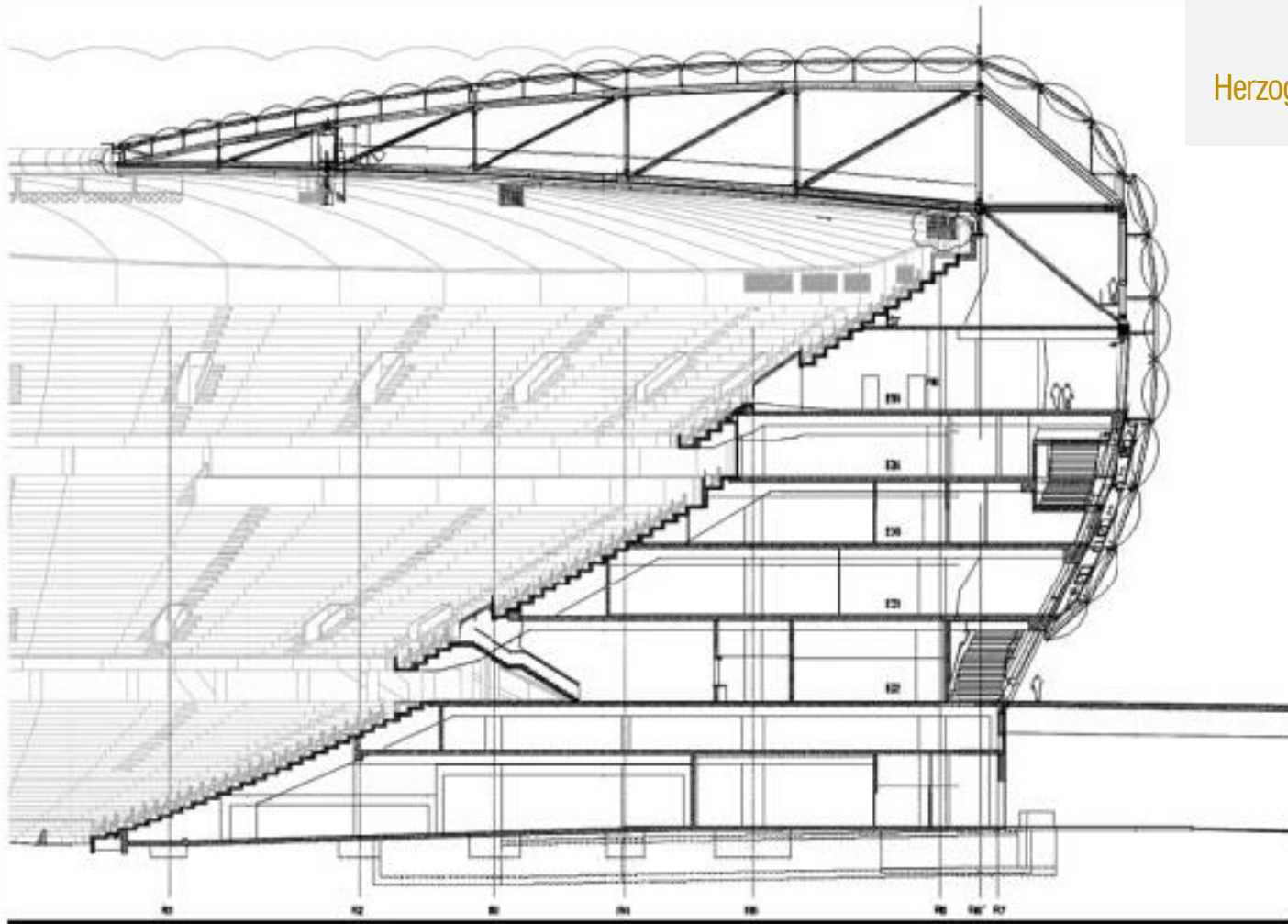


Allianz Arena
Herzog & De Meuron, 2006

Principi costruttivi complessi

62

Allianz Arena
Herzog & De Meuron, 2006



Principi costruttivi complessi



Hubert H. Humphrey Metrodome
Skidmore, Owings & Merrill LLP, 1982-2014

9.4

Principi geometrico - costruttivi

Principi geometrico - costruttivi

PRINCIPI GEOMETRICO - COSTRUTTIVI

I principi **geometrico** – **costruttivi** evidenziano le **relazioni** che incorrono tra la parti dell'apparecchiatura costruttiva al fine di consentirne la **realizzabilità**.

9



Principi geometrico - costruttivi

PRINCIPI GEOMETRICO - COSTRUTTIVI

scatolare

L'involucro **scatolare** si compone di chiusure verticali e orizzontali a definire una forma prismatica.

In questo modo, la verifica di stabilità si differenzia per elementi **verticali** ed **orizzontali** in termini di **azioni trasmesse**, **carichi** permanenti e variabili, **elementi portanti principali** e **secondari**.

globale

L'involucro **globale** racchiude lo spazio interno **senza soluzioni di continuità**, rendendo complessa la **distinzione** tra **chiusure verticali** e chiusura **orizzontale**.

9

Principi geometrico - costruttivi



INVOLUCRO SCATOLARE

Principi geometrico - costruttivi



INVOLUCRO GLOBALE

Principi geometrico - costruttivi



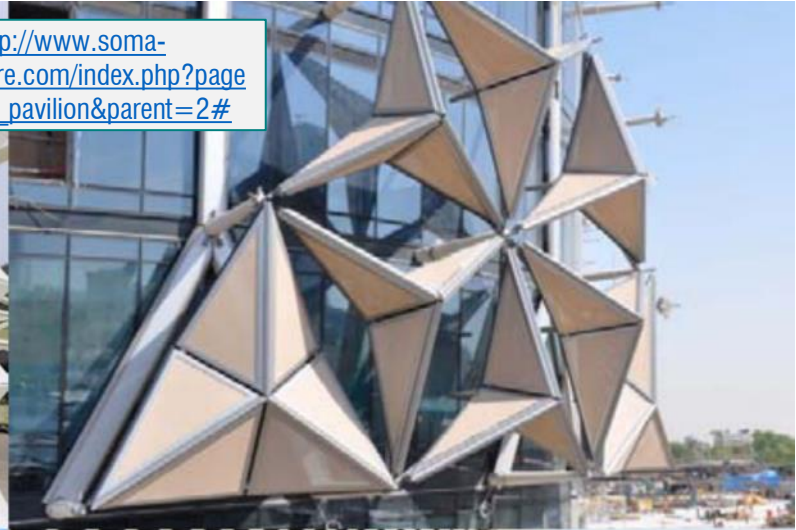
INVOLUCRO GLOBALE

Principi geometrico - costruttivi

https://www.youtube.com/watch?v=FCb6Y2z_8zg



http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#



<https://en.wikiarquitectura.com/building/sahmri-south-australian-health-and-medical-research-institute/>



<https://www.youtube.com/watch?v=iCAGlu4vPog>



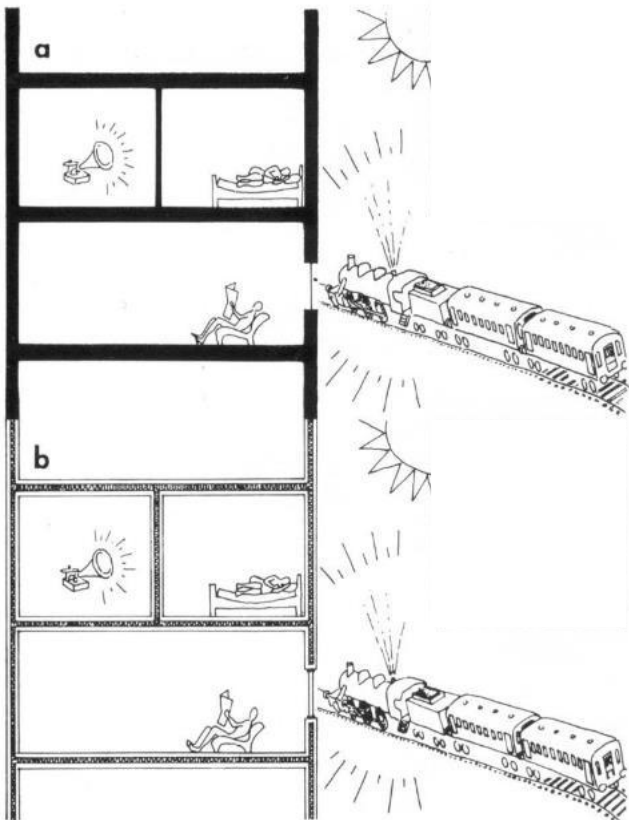
9.5

Principi del comfort ambientale

Principi del comfort ambientale

PRINCIPI DEL COMFORT AMBIENTALE

I principi del **comfort ambientale** definiscono un **modo** per assicurare la corrispondenza alle **esigenze** di **comfort indoor**, riferite alle **condizioni ambientali esterne** e alle **forzanti** a cui l'organismo edilizio è soggetto: soleggiamento, gelo, sorgenti sonore esterne.



Oggetto
edilizio

Condizioni acustiche
Condizioni termoigrometriche

Rapporto con le
precipitazioni atmosferiche

Principi del comfort ambientale

73

PRINCIPI DEL
COMFORT
AMBIENTALE

CORPO
UNICO

9

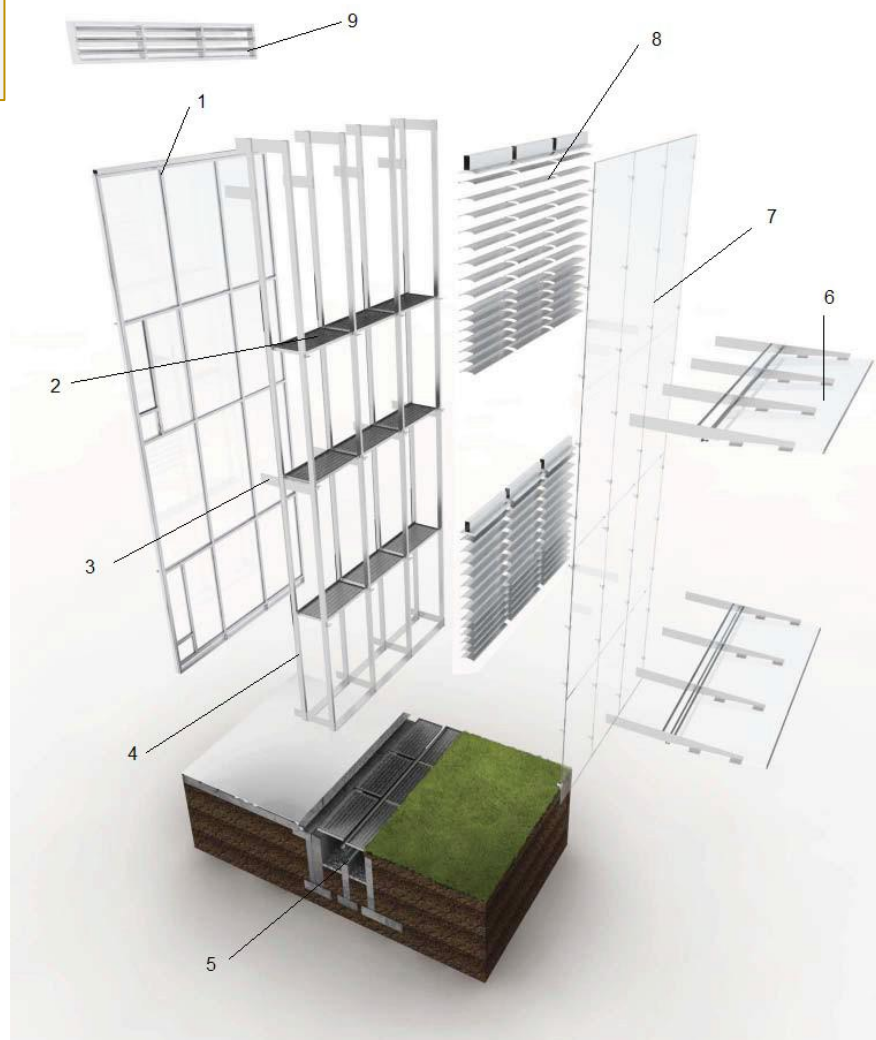


Principi del comfort ambientale

PRINCIPI DEL COMFORT AMBIENTALE

CORPO MULTIPLO

1. facciata continua con montanti e traversi, vetrocamera «isolante»
2. spazi per la manutenzione
3. elementi di collegamento
4. sottostruttura a telaio per il sostegno della facciata esterna
5. griglie apribili per la ventilazione alla base
6. schermature solari fisse esterne alla facciata
7. strato di rivestimento esterno in vetro (facciata appesa)
8. schermature solari mobili poste in intercapedine
9. griglie apribili in sommità

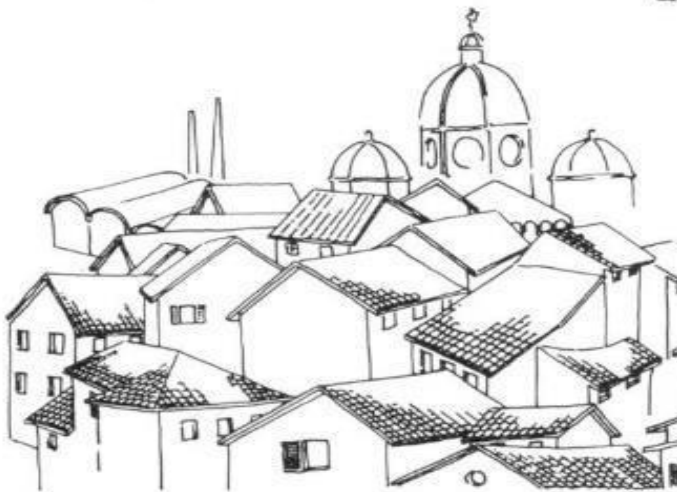


Principi del comfort ambientale

75

PRINCIPI DEL
COMFORT
AMBIENTALE

DEFLUSSO
DIRETTO

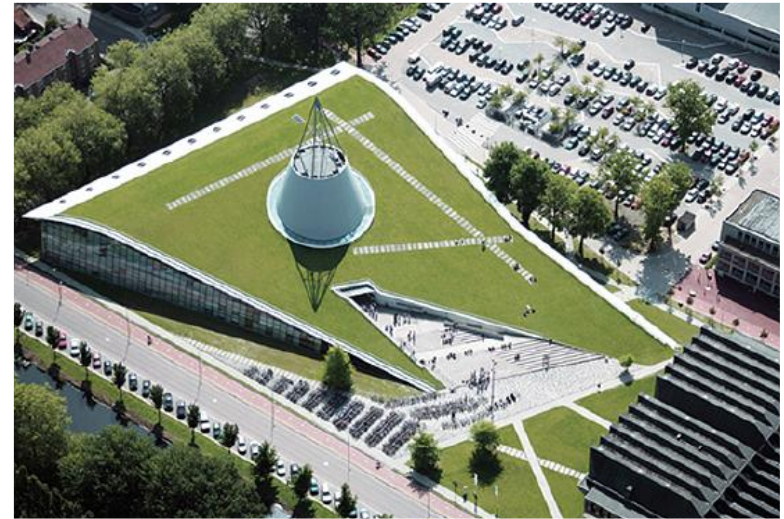


Principi del comfort ambientale

76

PRINCIPI DEL COMFORT AMBIENTALE

RACCOLTA E
SMALTIMENTO

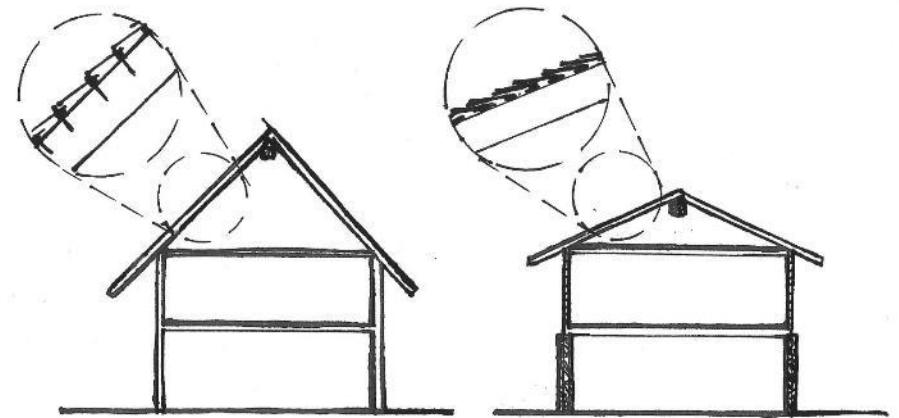
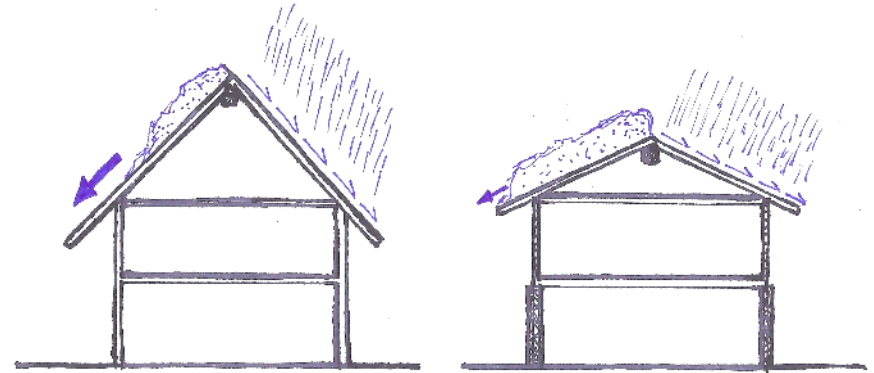


Principi del comfort ambientale

PRINCIPI DEL COMFORT AMBIENTALE

DEFLUSSO
DIRETTO

RACCOLTA E
SMALTIMENTO



9

9.6

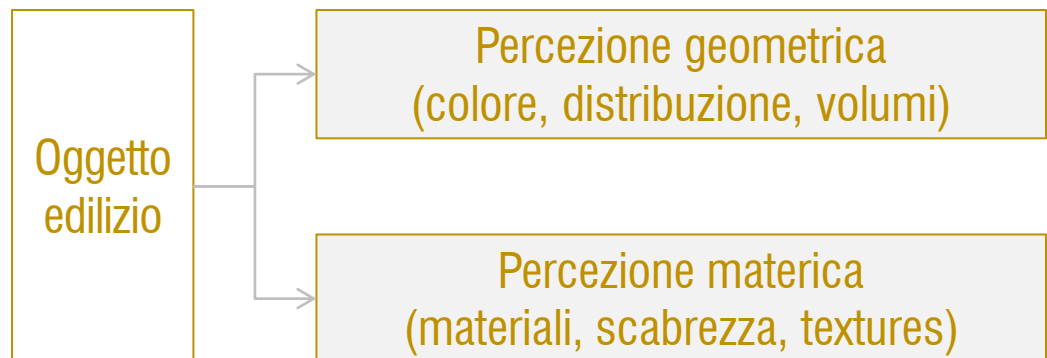
Principi della percezione

Principi della percezione

PRINCIPI DELLA PERCEZIONE

I principi della **percezione** definiscono un modo per percepire e comprendere un organismo edilizio esaltandone la sua forma geometrica oppure la sua consistenza materica.

9



Principi della percezione



Principi della percezione

