

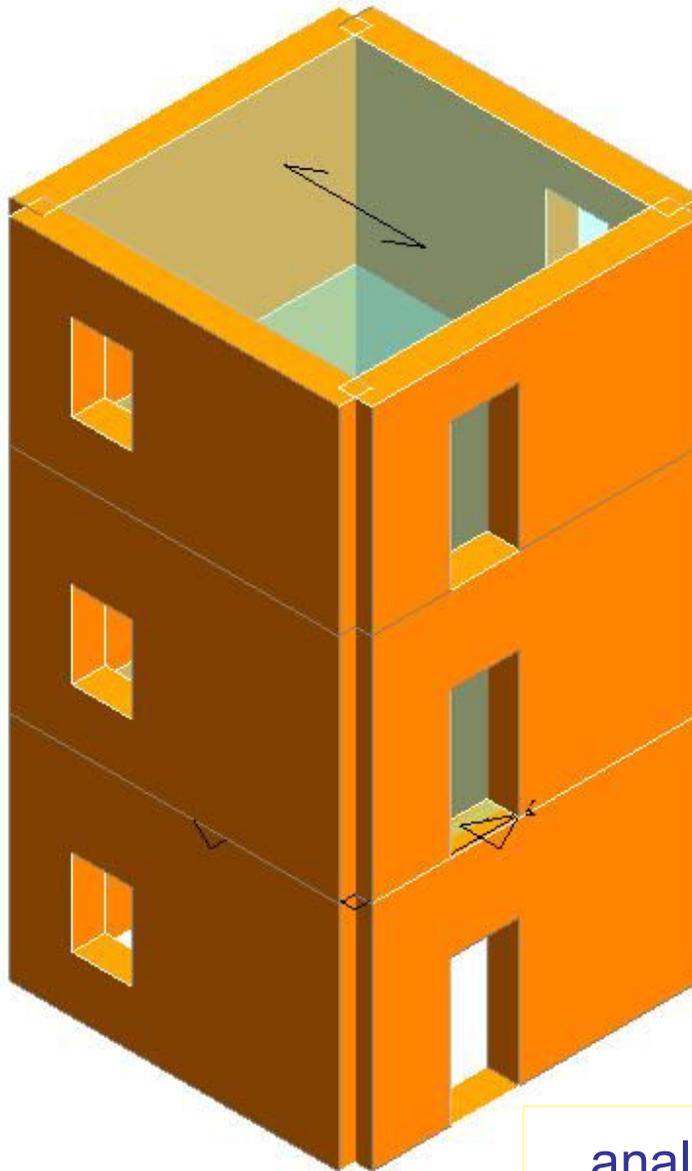
edifici esistenti in muratura
verifiche di vulnerabilità sismica
analisi cinematiche

8.7.1 COSTRUZIONI IN MURATURA (D.M. 14/01/2008)

Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare **meccanismi locali e meccanismi d'insieme**. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano.

La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

Per l'analisi sismica dei meccanismi locali si può far ricorso ai metodi dell' **analisi limite dell'equilibrio** delle strutture murarie, tenendo conto, anche se in forma approssimata, della resistenza a compressione, della tessitura muraria, della qualità della connessione tra le pareti murarie, della presenza di catene e tiranti.

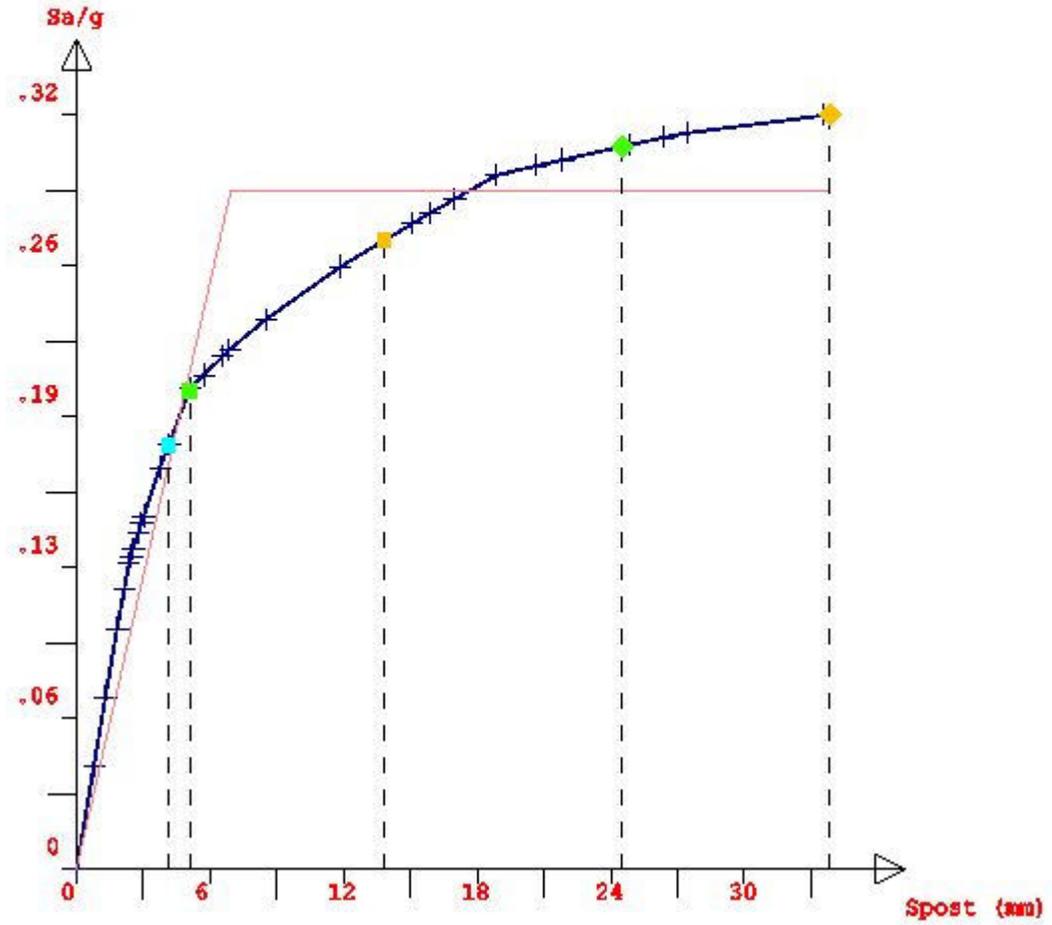


S.L.D.:

- Domanda di spostamento : 5.07 mm
- ◆ Capacita' di spostamento : 24.51 mm
- PgaLD : .21 Ag/g

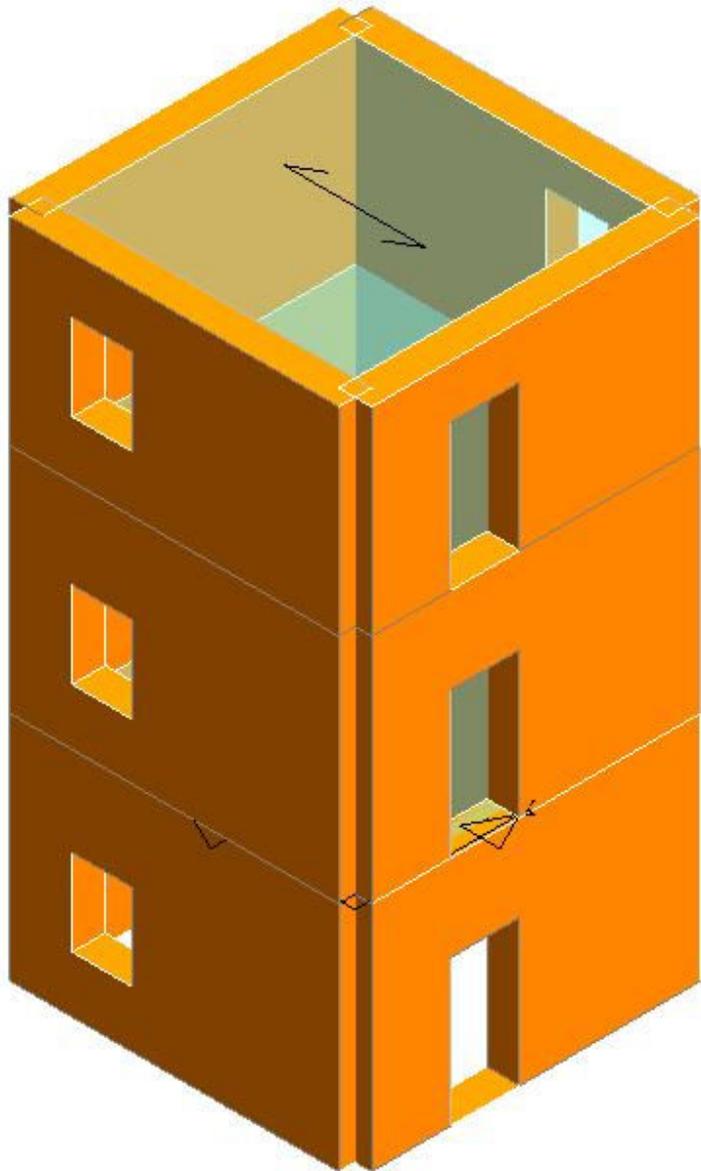
S.L.V.:

- Domanda di spostamento : 13.81 mm
- ◆ Capacita' di spostamento : 33.83 mm
- PgaLV : .21 Ag/g



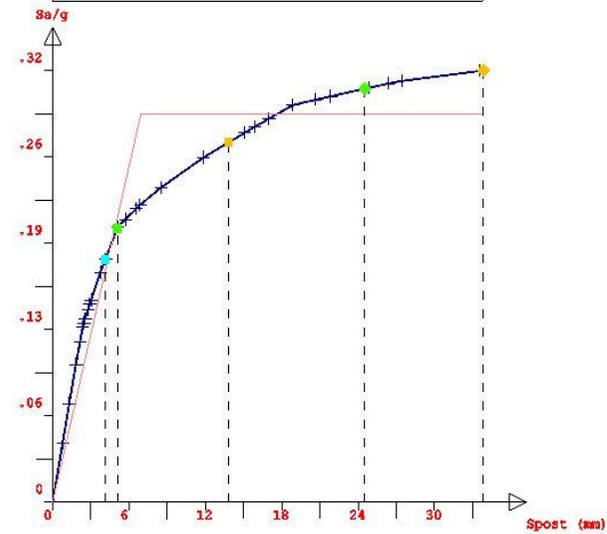
analisi non lineare tipo push-over o analisi lineare





S.L.D.:
■ Domanda di spostamento : 5.07 mm
◆ Capacita' di spostamento : 24.51 mm
PgaLD : .21 Ag/g

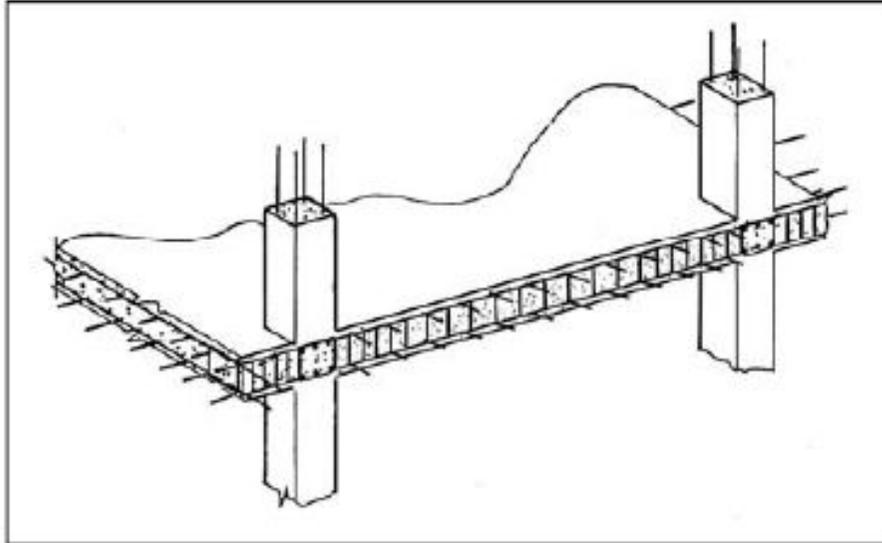
S.L.V.:
■ Domanda di spostamento : 13.81 mm
◆ Capacita' di spostamento : 33.83 mm
PgaLV : .21 Ag/g



comportamento scatolare

1. orizzontamenti rigidi
2. orizzontamenti efficacemente ammortati agli elementi verticali

orizzontamenti rigidi

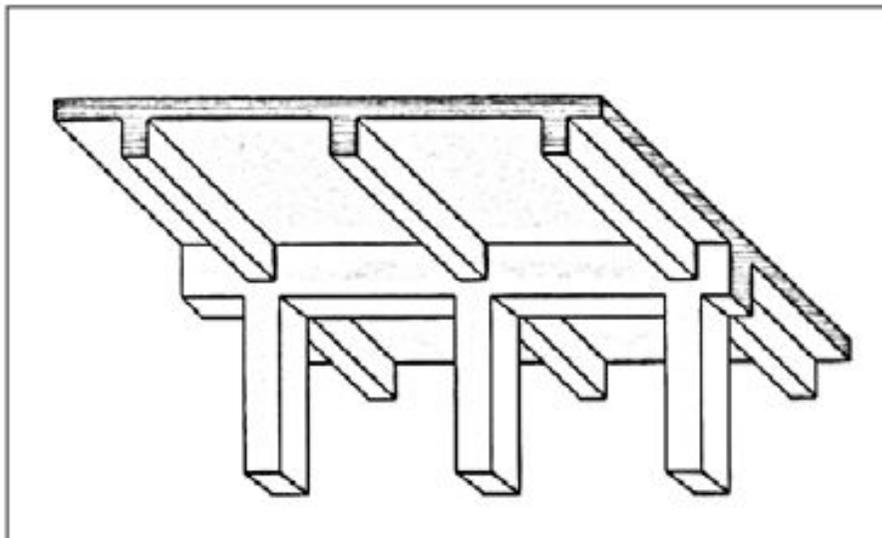


Solai in cemento armato.

DESCRIZIONE:

Struttura a soletta piena in c.a..

Garantisce un ottimo comportamento a lastra offrendo un'elevata rigidezza nel proprio piano in entrambe le direzioni.

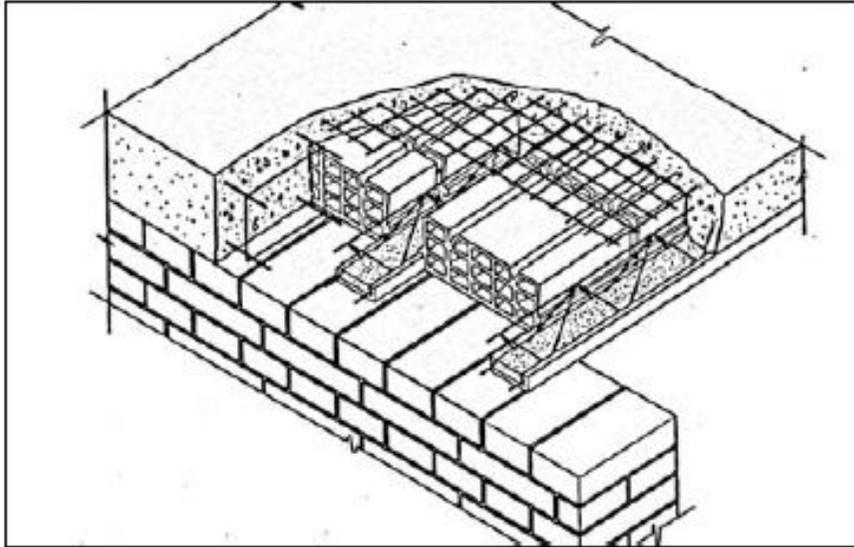


Solai in cemento armato a nervature semplici o incrociate.

DESCRIZIONE:

Come sopra, ma la presenza delle nervature determina una netta diminuzione delle masse strutturali.

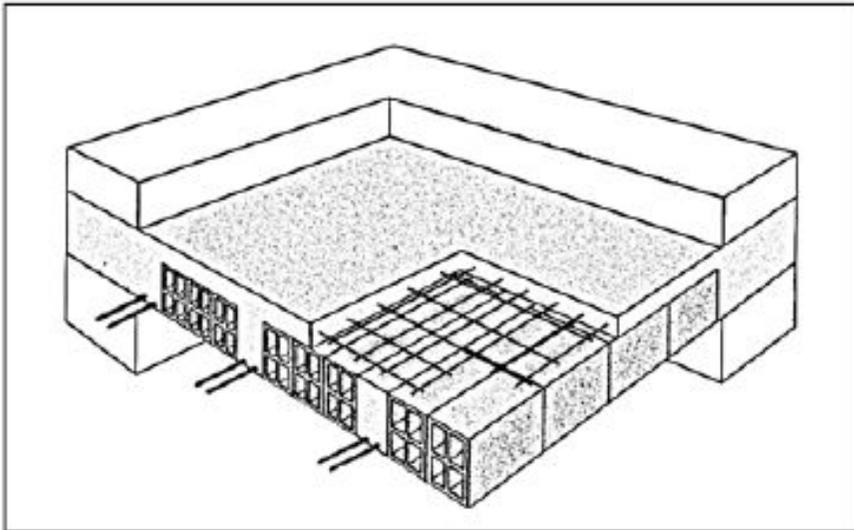
orizzontamenti rigidi



Solai in latero-cemento con soletta armata e travetti a traliccio prefabbricati.

DESCRIZIONE:

Solaio con travetti prefabbricati a traliccio e pignatte di alleggerimento. La presenza della soletta collaborante armata conferisce al solaio un'elevata rigidezza nel proprio piano.

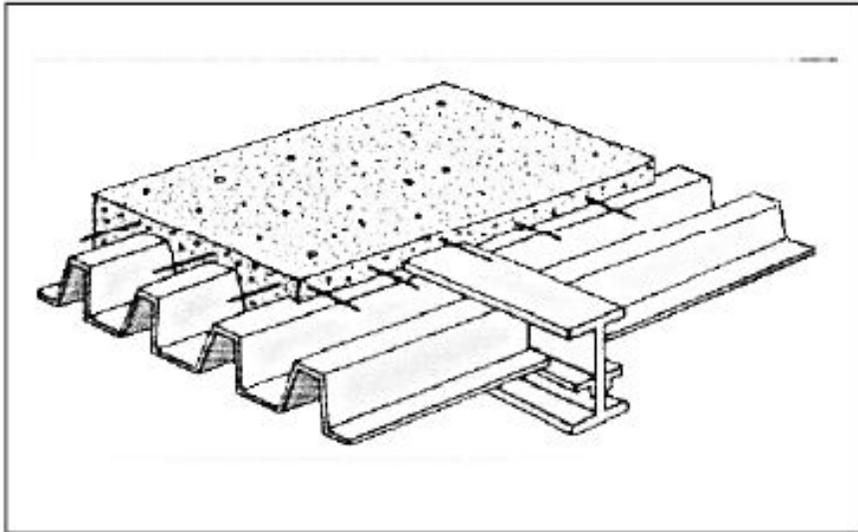


Solai in latero-cemento con soletta armata e travetti in c.a. gettati in opera.

DESCRIZIONE:

Solaio con travetti in c.a. gettati in opera o prefabbricati in laterizio armato, con pignatte di alleggerimento. La presenza della soletta armata conferisce al solaio un'elevata rigidezza nel proprio piano.

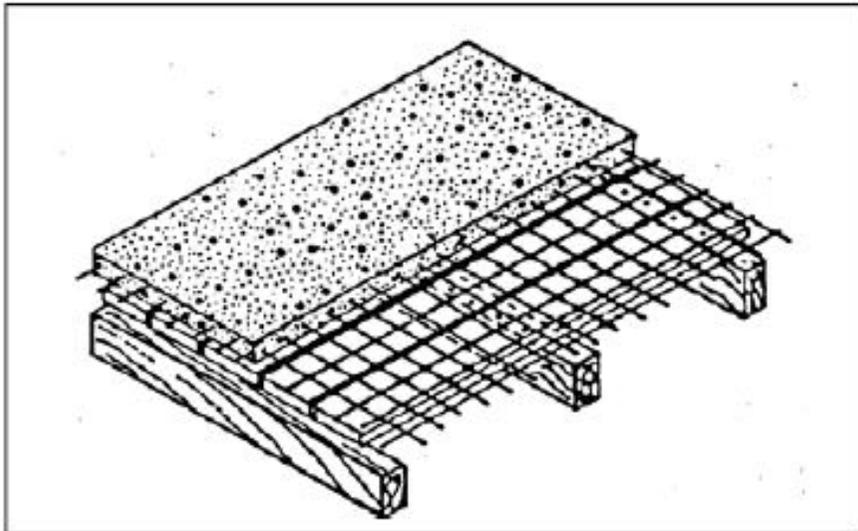
orizzontamenti rigidi o poco deformabili



Solai in lamiera grecata e getto di calcestruzzo.

DESCRIZIONE:

Costituiti da lamiera grecata in acciaio di spessore sottile completata a piè d'opera con getto di riempimento in calcestruzzo e soletta armata superiore. La presenza della soletta armata conferisce al solaio un'elevata rigidità nel proprio piano.

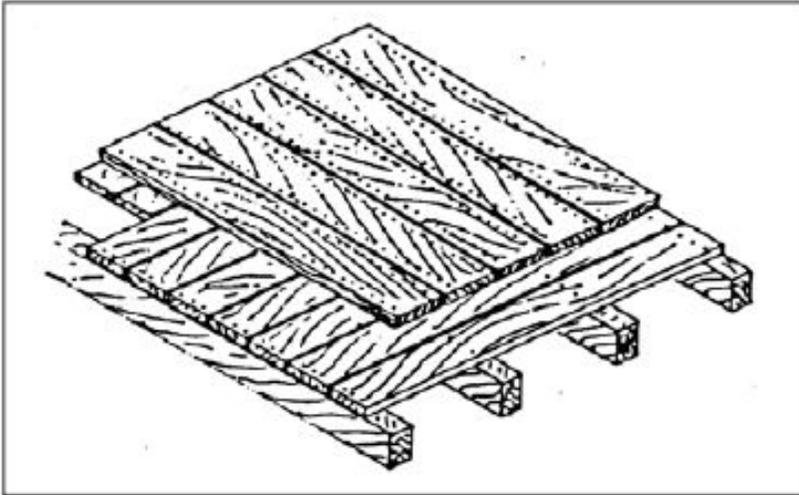


Solai in legno consolidato con getto di soletta armata.

DESCRIZIONE:

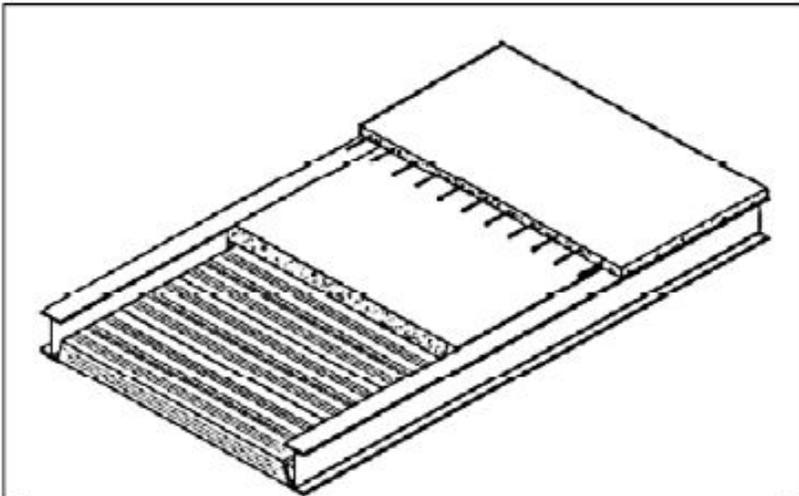
Struttura in legno a semplice o doppia orditura con travi, travicelli, mezzane consolidata con getto di soletta armata superiore. La presenza della soletta armata garantisce al solaio una buona rigidità nel proprio piano. Per contro aumenta sensibilmente le masse strutturali.

orizzontamenti rigidi o poco deformabili



Solai in legno consolidato con doppio tavolato incrociato.

Struttura in legno a semplice o doppia orditura con travi, travicelli, tavolato consolidata con applicazione di un altro tavolato soprastante, inchiodato al preesistente ed incrociato rispetto ad esso. Garantisce al solaio una buona rigidità nel proprio piano, senza aumentare in modo considerevole le masse strutturali.

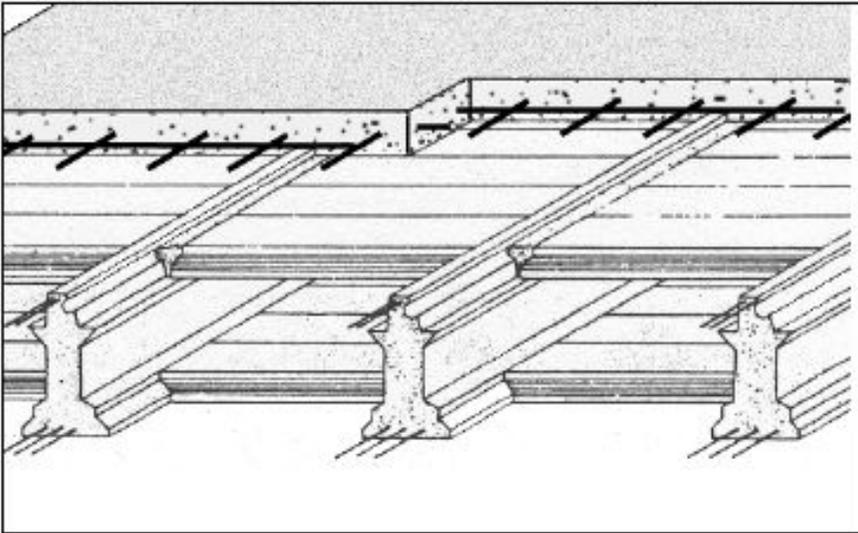


Solai in ferro e laterizio (no voltine) con soletta collaborante armata.

DESCRIZIONE:

Costituiti da putrelle in acciaio con tavelle in laterizio appoggiate sull'ala inferiore o su entrambe le ali. L'applicazione di una soletta armata con rete elettrosaldata conferisce al solaio una buona rigidità nel proprio piano. Per contro aumenta sensibilmente le masse strutturali.

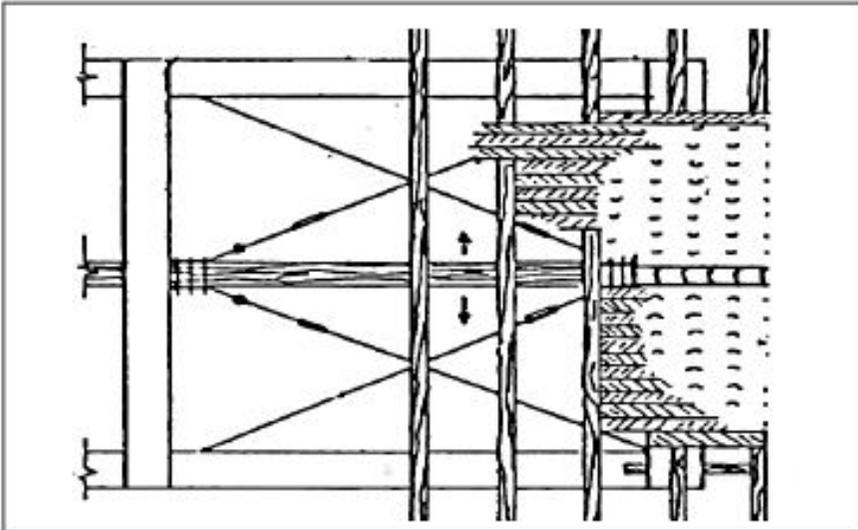
orizzontamenti rigidi o poco deformabili



Solai in travetti in c.a.p. con pignatte o tabelle corte con soletta collaborante.

DESCRIZIONE:

Costituiti da travetti in c.a.p. con pignatte o tavelloni di lunghezza ridotta (60 cm) con soletta sovrastante ben fatta.

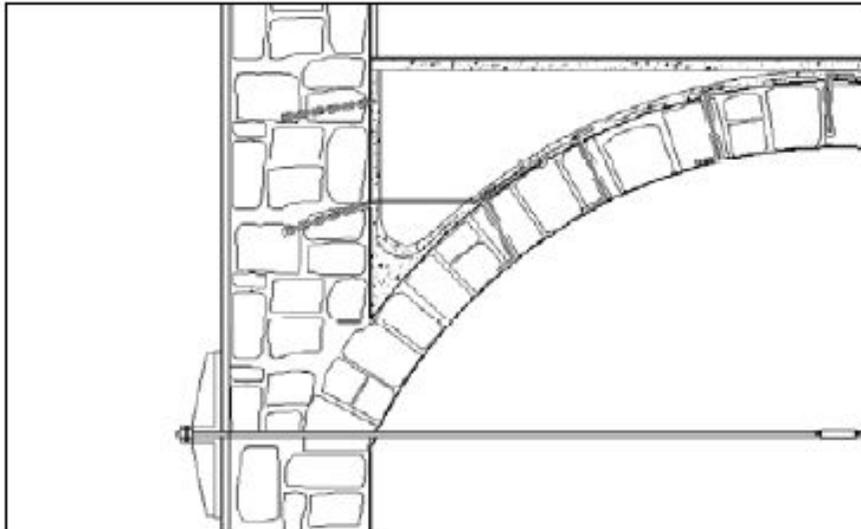


Solai in legno (o in acciaio) irrigiditi con tiranti disposti a croce di Sant'Andrea.

DESCRIZIONE:

Struttura portante in legno o in acciaio. Applicazione di tiranti metallici disposti a croce di Sant'Andrea. L'intervento aumenta la rigidità nel piano dell'orizzontamento.

orizzontamenti rigidi o poco deformabili

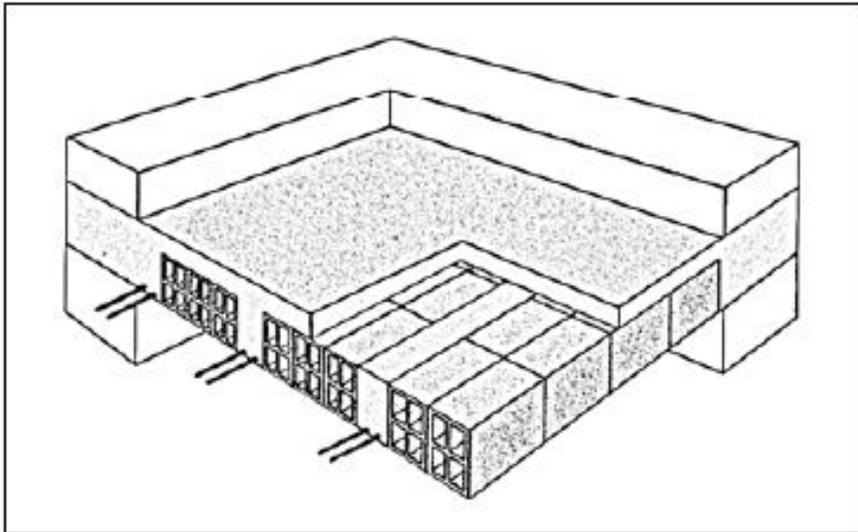


Volta in pietra o in laterizio, consolidata e a spinta eliminata.

DESCRIZIONE:

L'intervento, che consiste nel getto di un guscio in cls armato e nell'inserimento di catene in acciaio ancorate sull'esterno con capichave, conferisce alla volta un ruolo di diaframma rigido.

orizzontamenti deformabili

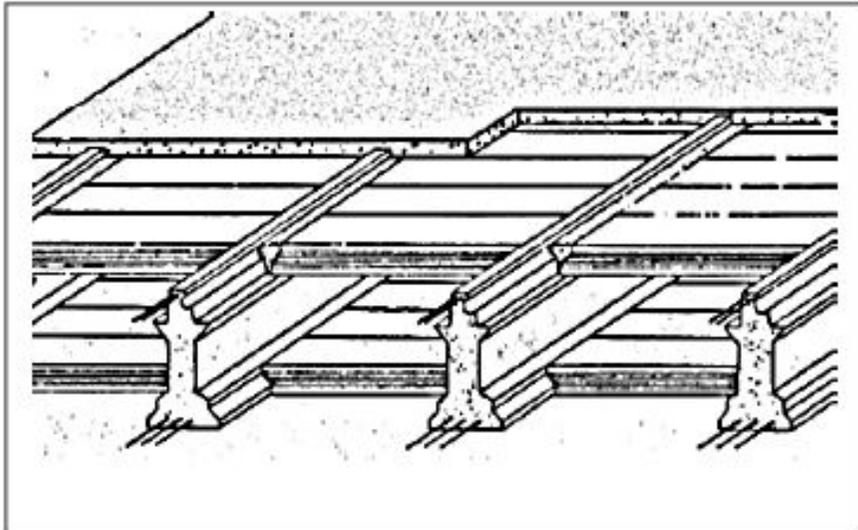


Solai in latero-cemento con travetti gettati in opera con soletta non armata.

DESCRIZIONE:

Solaio con travetti in c.a. gettati in opera o prefabbricati in laterizio armato, con pignatte di alleggerimento, con soletta non armata.

Nel caso di calcestruzzi con scarse qualità meccaniche, questi solai denotano una scarsa rigidità nel proprio piano.

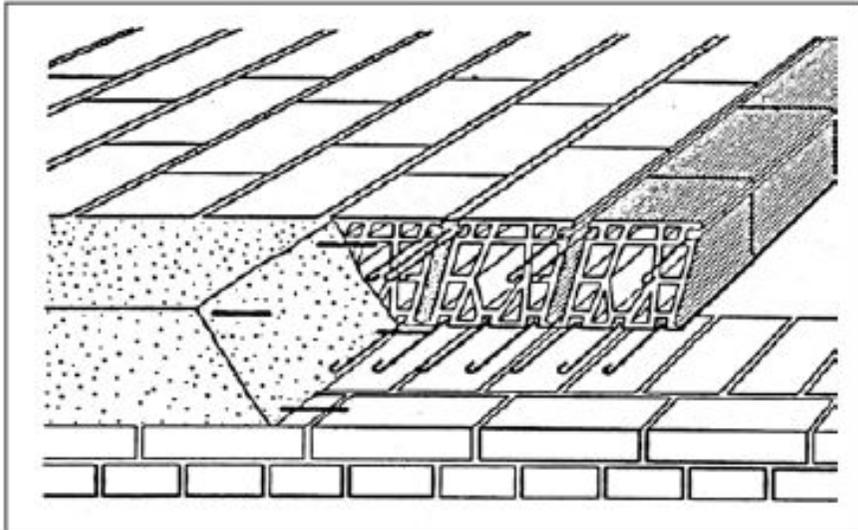


Solai in travetti prefabbricati tipo "Varese" o in travetti prefabbricati in c.a.p. senza soletta armata.

DESCRIZIONE:

Composti da travi prefabbricate sagomate, a doppia armatura, e tavelloni in laterizio disposti in uno o due ordini. Presentano una certa deformabilità nel proprio piano.

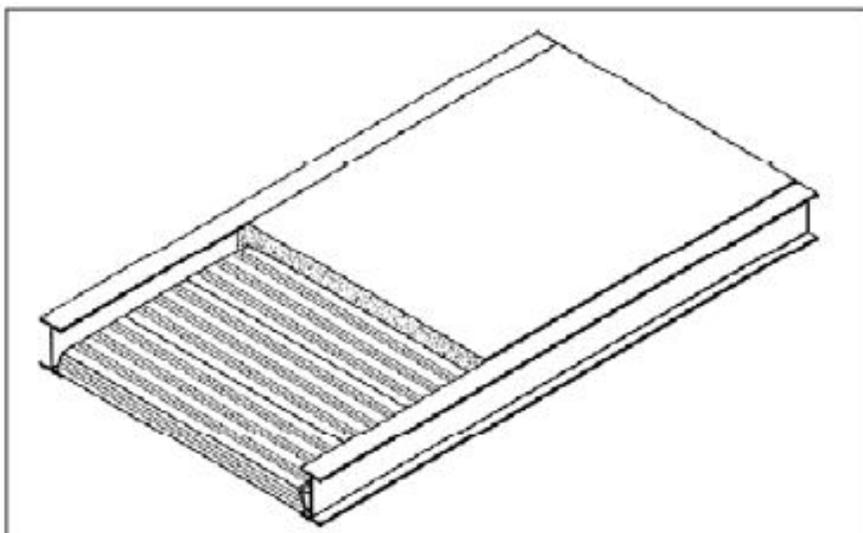
orizzontamenti deformabili



Solai in travetti prefabbricati tipo “SAP” (e simili) privi di soletta.

Composti da travi in laterizio armato prefabbricati o confezionati a piè d'opera. Possono essere affiancati o con tavelloni interposti. Denotano una elevata fragilità e a causa della mancanza della soletta una spiccata deformabilità nel proprio piano. Vengono utilizzati anche come controsoffitti pesanti.

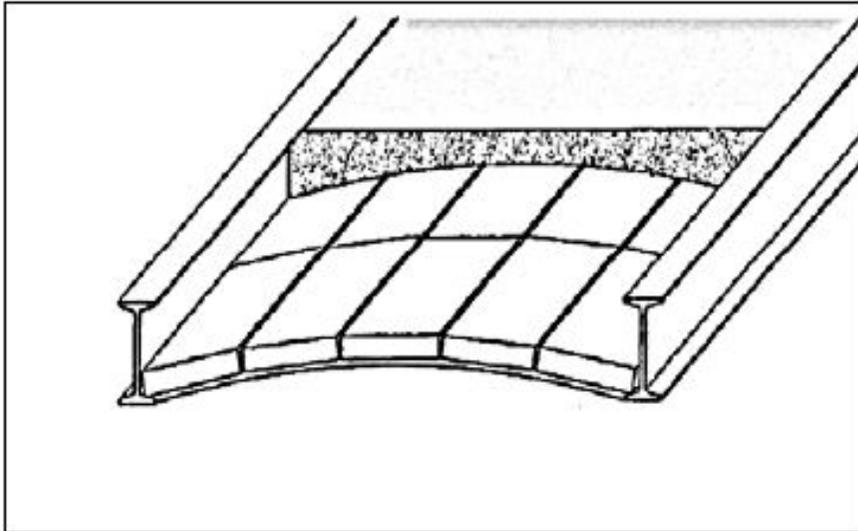
orizzontamenti deformabili



Solai in travetti a doppio T con tavelloni privi di soletta.

Composti da putrelle in acciaio con tavelloni in laterizio appoggiati sull'ala inferiore o su entrambe le ali del profilato e spianamento in conglomerato alleggerito. Scarsa rigidezza nel proprio piano.

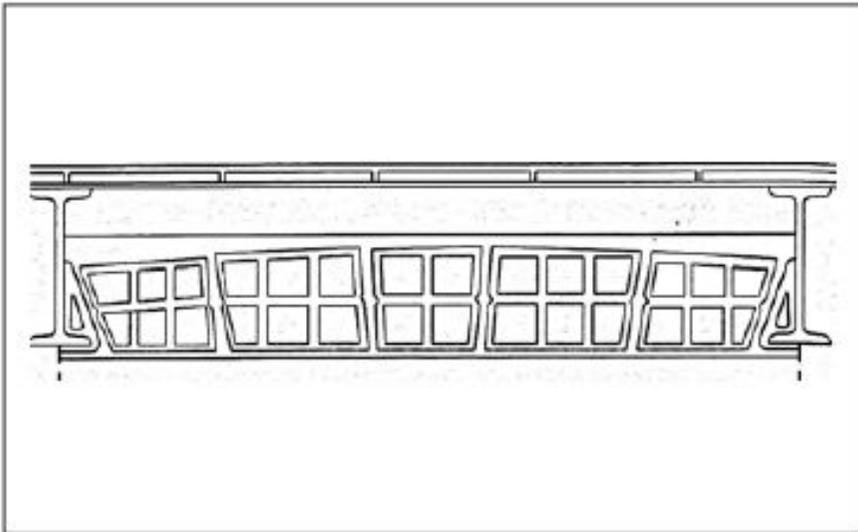
orizzontamenti deformabili



Solai in travetti a doppio T con voltine.

DESCRIZIONE:

Composti da putrelle in acciaio con voltine realizzate in mattoni disposti in foglio e impostate sulle ali inferiori delle putrelle, con rinfiango in conglomerato alleggerito. Assenza di soletta sovrastante. Scarsa rigidezza nel proprio piano.

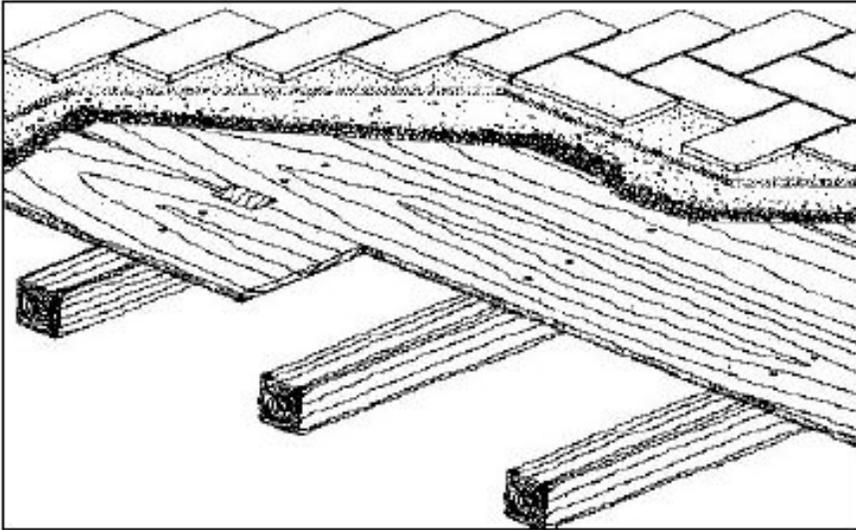


Solai in travetti a doppio T con volterrane.

DESCRIZIONE:

Composti da putrelle in acciaio con volterrane in laterizio appoggiati sull'ala inferiore del profilato e spianamento in conglomerato alleggerito. Assenza di soletta sovrastante. Scarsa rigidezza nel proprio piano.

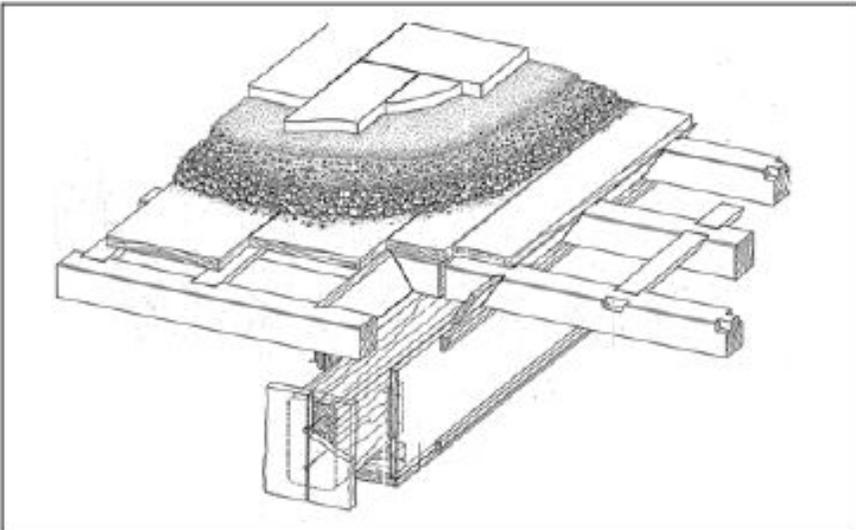
orizzontamenti deformabili



Solai in legno a semplice orditura con tavolato.

DESCRIZIONE:

Composti da travi o travicelli in legno sui quali è inchiodato il tavolato. Non assolvono la funzione di diaframma rigido ma denotano notevole leggerezza.

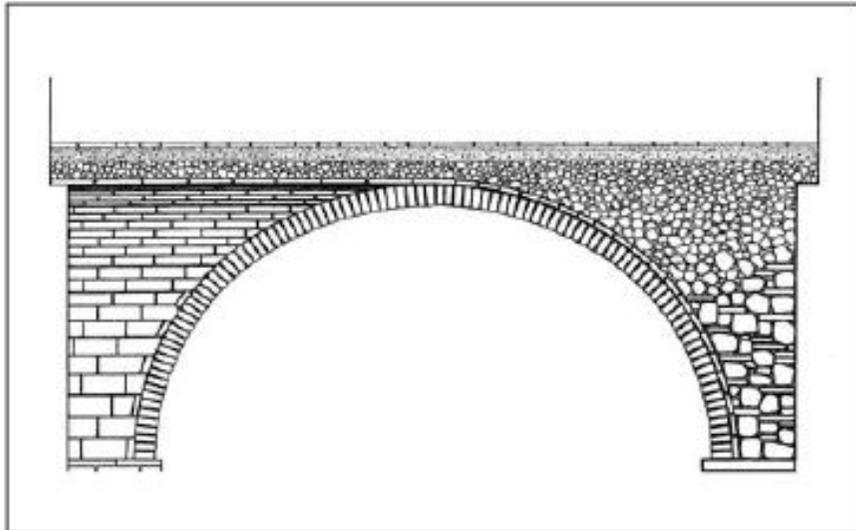


Solai in legno a doppia orditura con tavolato.

DESCRIZIONE:

Composti da travi principali, travicelli e tavolato in legno. Presentano una certa deformabilità nel proprio piano.

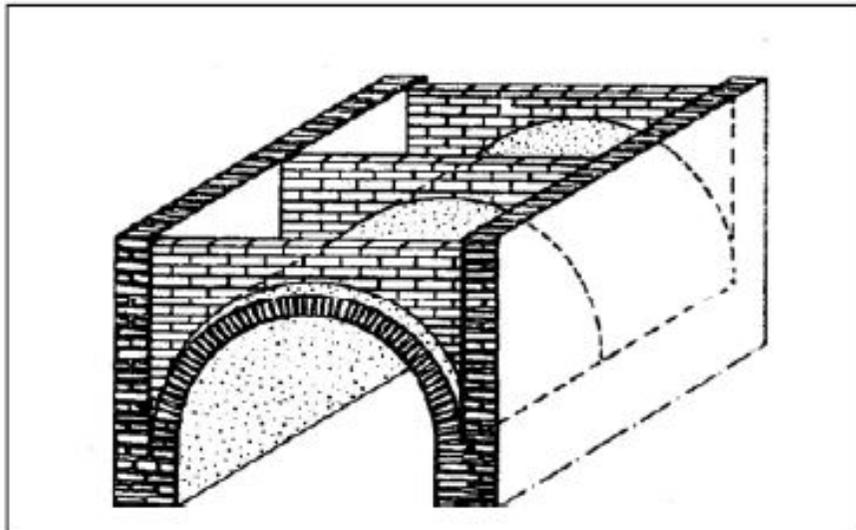
orizzontamenti deformabili



Volte in pietra o in laterizio.

DESCRIZIONE:

Solai realizzati al di sopra del materiale di riempimento dell'estradosso della volta (a botte, a crociera, ecc.) predisponendo uno strato di allettamento e la pavimentazione.

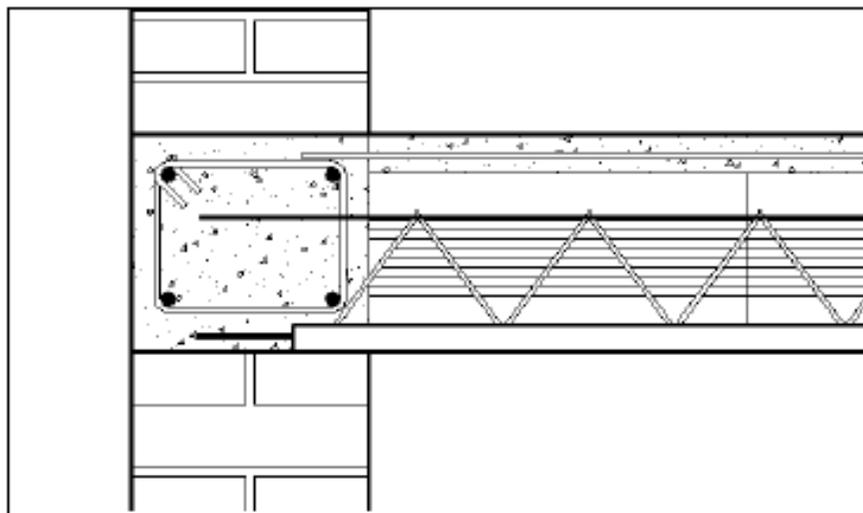


Solai d'estradosso di volte in pietra o in laterizio appoggiati su frenelli.

DESCRIZIONE:

Solai appoggiati su muretti (frenelli) in laterizio (o in c.a. nel caso di volte consolidate) costituiti da tavelloni o con orditura in legno con tavolato.

efficacia dei collegamenti alle strutture verticali

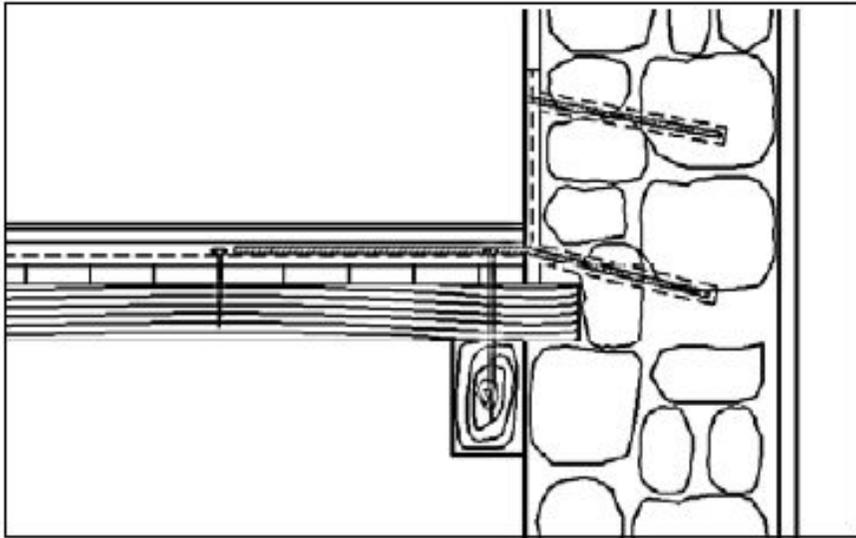


Collegamento realizzato con cordolo in c.a.

DESCRIZIONE:

Caratterizzati da un sufficiente appoggio dei travetti del solaio sulla muratura, di dimensioni e con armatura come previsto da normativa.

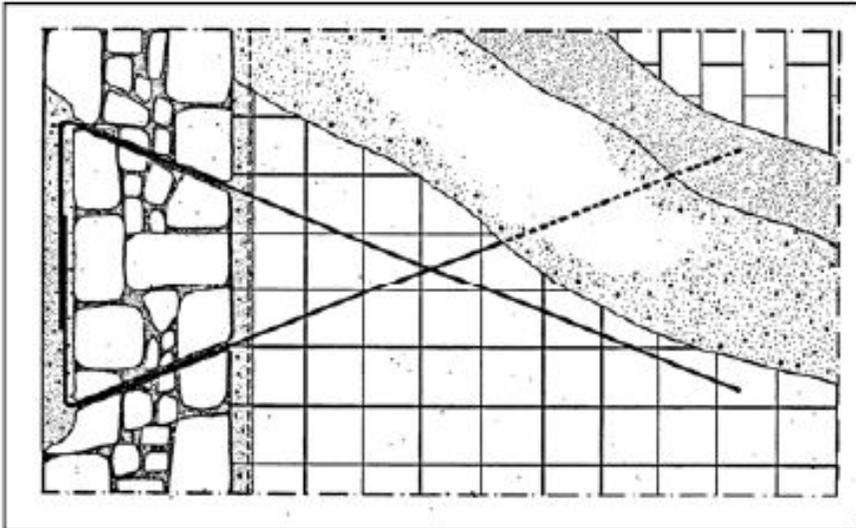
collegamenti efficaci alle strutture verticali



Collegamento realizzato con rete elettrosaldata risvoltata sulla parete e ben collegata a questa.

DESCRIZIONE:

La rete elettrosaldata viene risvoltata sulla parete per una lunghezza pari a 50 cm e collegata puntualmente al paramento esterno della muratura con perforazioni a sola rotazione armate e iniettate con malte a ritiro compensato. Lo stesso tipo di intervento senza perforazioni non risulta efficace.

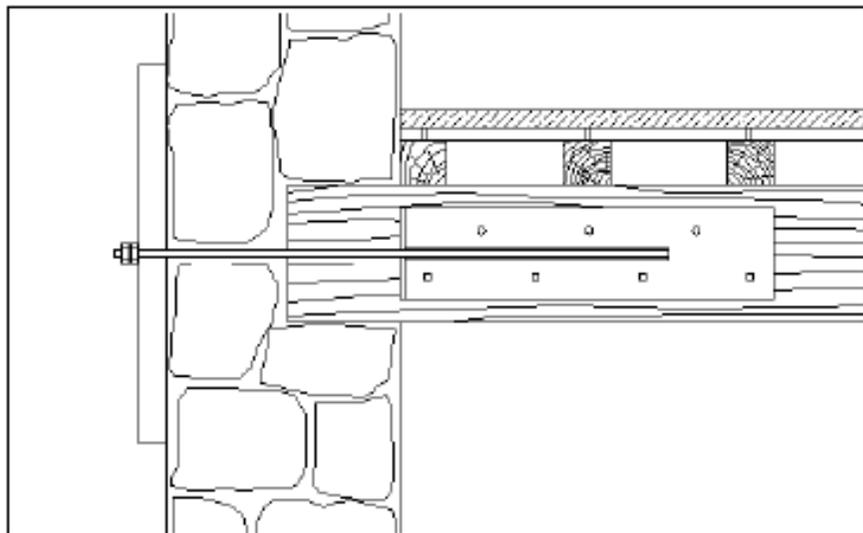


Collegamento realizzato con rete elettrosaldata collegata alla parete con ferri disposti a “code di rondine”.

DESCRIZIONE:

La soletta in calcestruzzo viene collegata alla muratura mediante ferri piegati a “coda di rondine” praticate a livello dell’orizzontamento.

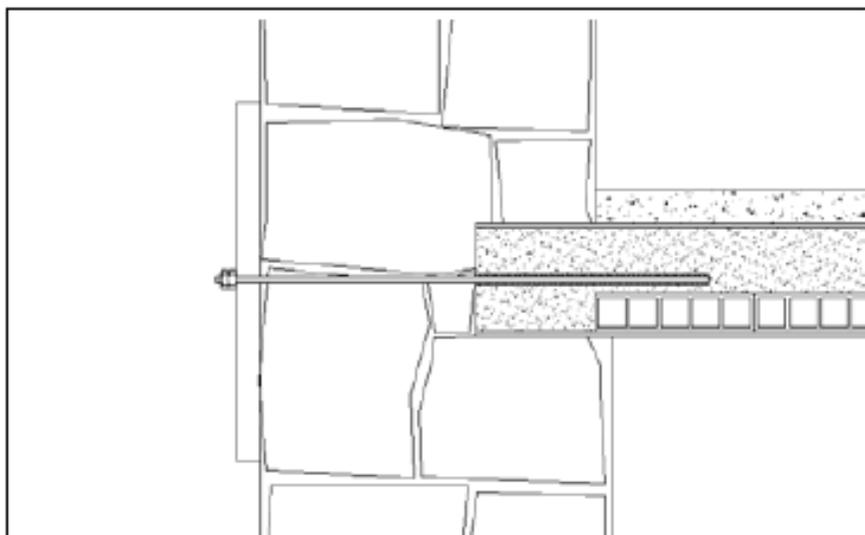
collegamenti efficaci alle strutture verticali



Collegamento con tirante metallico e capochiave per travi in legno.

DESCRIZIONE:

La trave in legno viene ancorata alla muratura con piatti metallici, bullonati alla trave in legno, collegati ad un paletto capochiave esterno, della dimensione almeno pari a quella del solaio, tramite barre di collegamento di lunghezza almeno 50 cm e saldatura continua al piatto metallico.

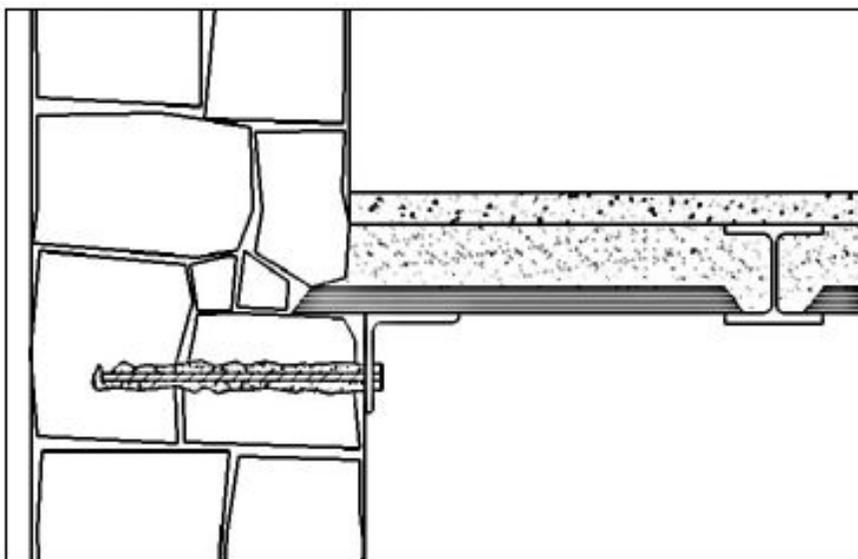


Collegamento realizzato con tirante metallico e capochiave per travi in acciaio.

DESCRIZIONE:

Una barra viene saldata al profilato metallico e fatta passare attraverso lo spessore murario fino ad ancorarla su un paletto capochiave esterno.

collegamenti efficaci alle strutture verticali

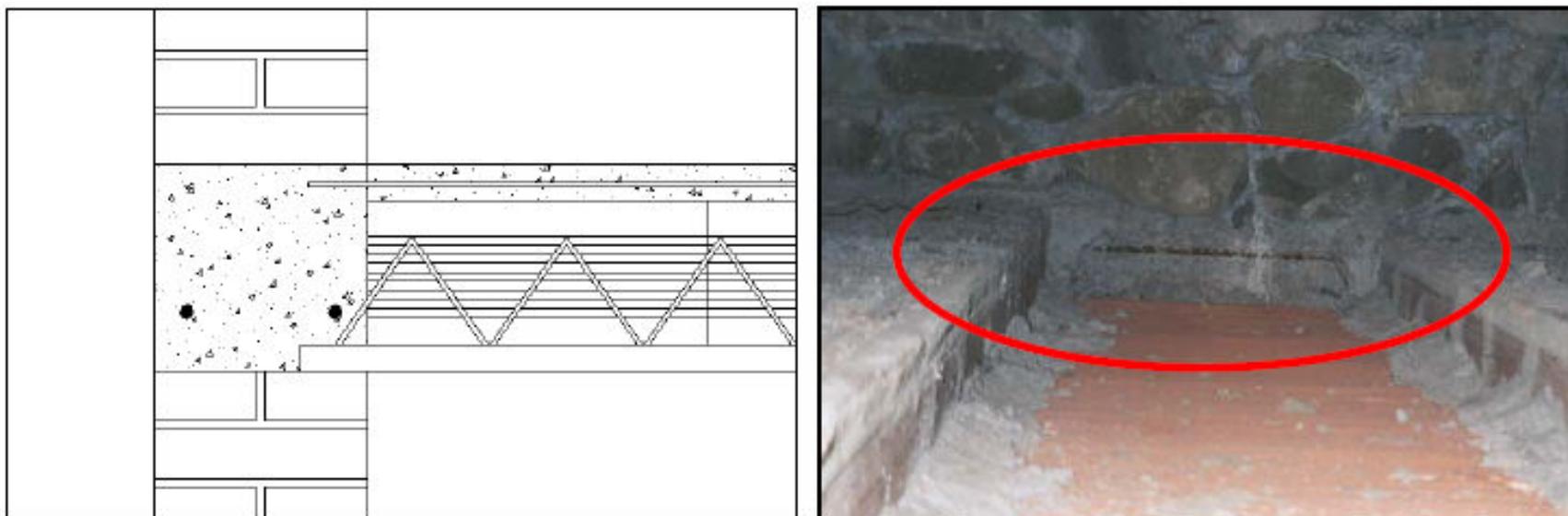


Collegamento realizzato con profilato metallico, continuo lungo il perimetro del solaio, ancorato alla muratura.

DESCRIZIONE:

Profilati a C o a L che vengono ancorati alla muratura tramite perforazioni armate che devono raggiungere il paramento esterno. Costituisce un parziale rimedio sui lati del solaio dove non appoggiano i travetti.

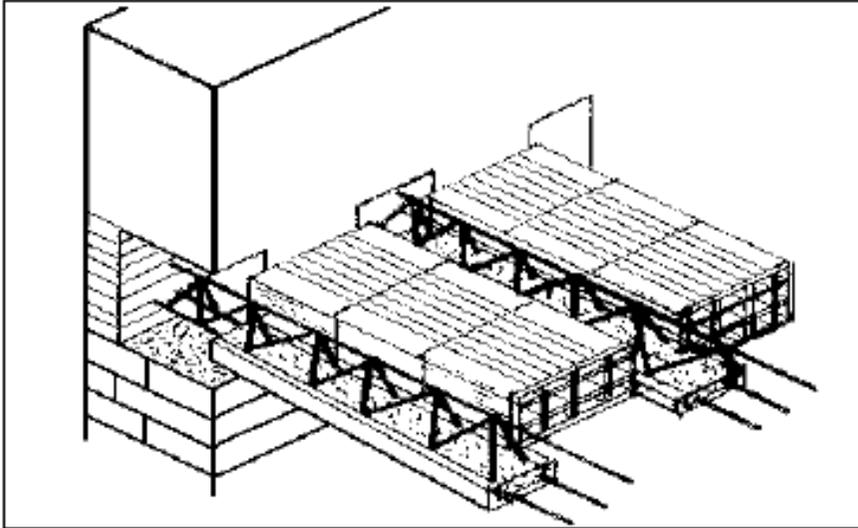
collegamenti NON efficaci alle strutture verticali



Collegamento realizzato con cordolo non armato o di scarsa qualità.

La scarsa qualità del conglomerato e/o l'insufficienza delle armature non garantisce il corretto ancoraggio dell'armatura del travetto né permette il comportamento scatolare dell'edificio.

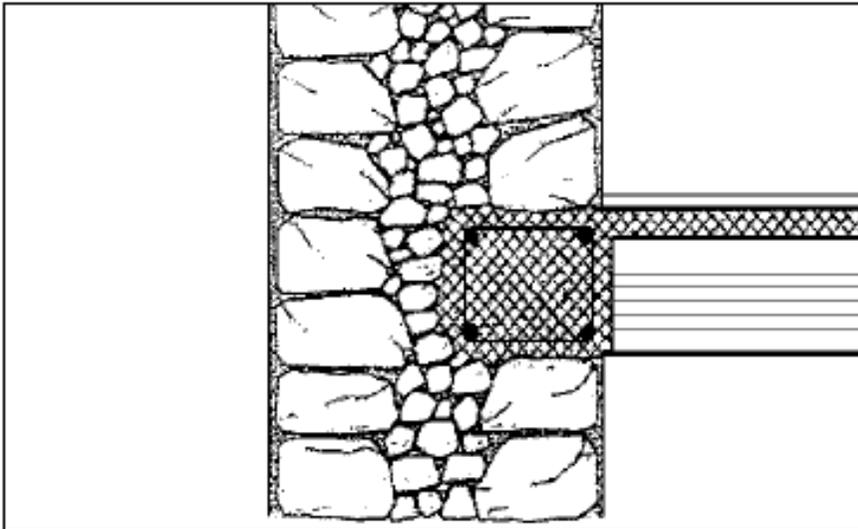
collegamenti NON efficaci alle strutture verticali



Assenza di cordoli di piano in presenza di travetti prefabbricati in c.a., c.a.p., a traliccio, e in laterizio armato tipo SAP.

DESCRIZIONE:

L'assenza del cordolo non garantisce il corretto ancoraggio dell'armatura del travetto né permette il comportamento scatolare dell'edificio.

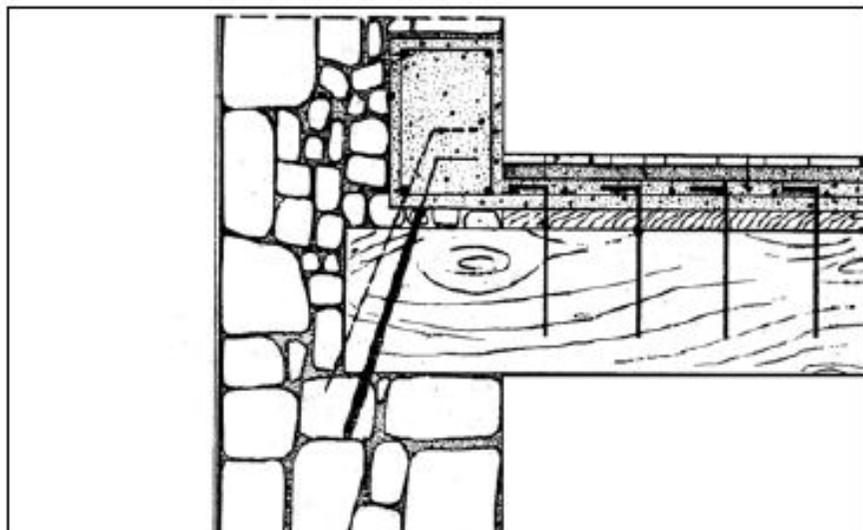


Collegamento realizzato con cordolo in c.a. in breccia alla muratura.

DESCRIZIONE:

In caso di sisma, per le murature a doppio paramento, il cordolo che insiste soltanto sul paramento interno della muratura può provocare il crollo del paramento esterno o di entrambe.

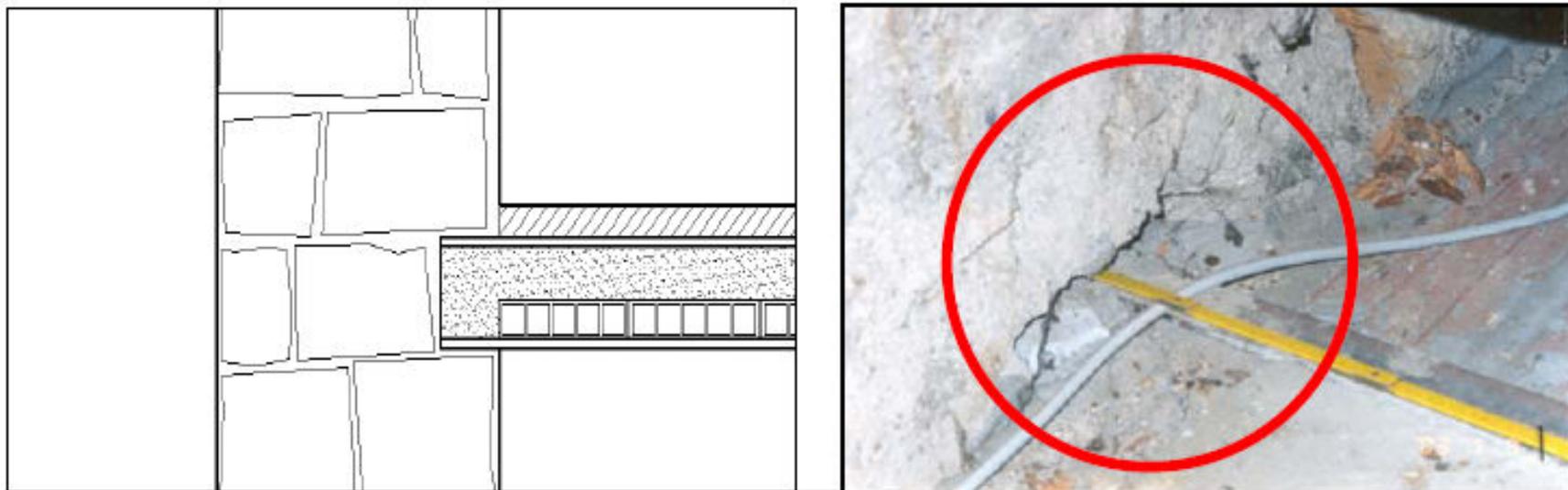
collegamenti NON efficaci alle strutture verticali



Collegamento realizzato con cordolo in c.a. in breccia ammorsato con iniezioni armate alla muratura sottostante.

DESCRIZIONE:
Come sopra.

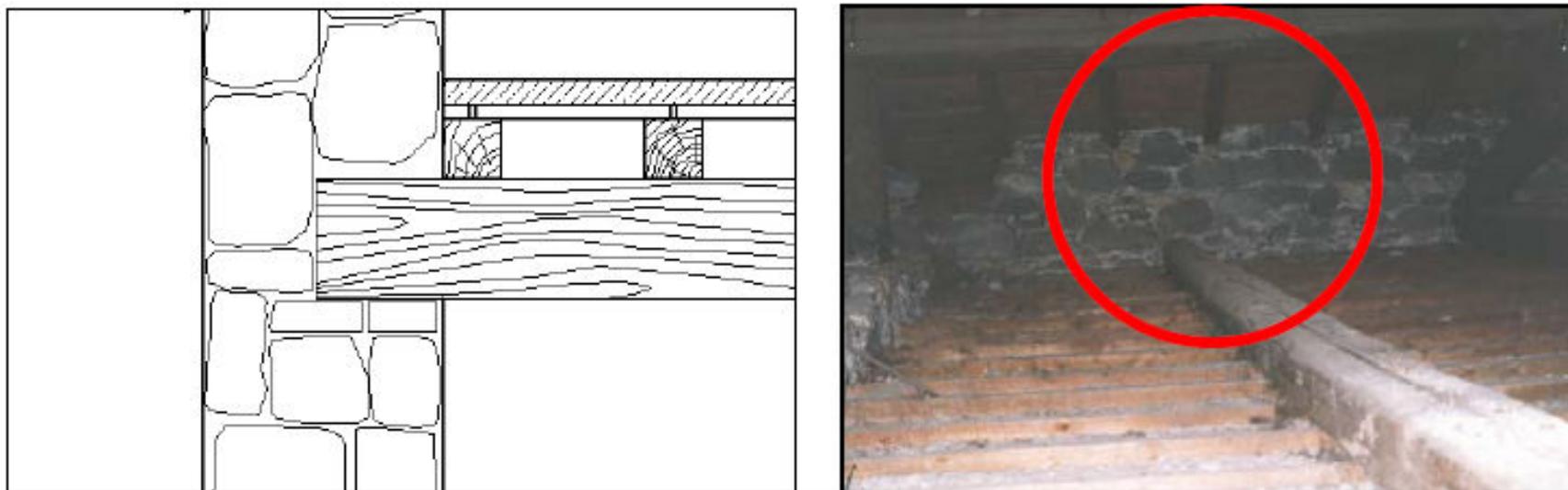
collegamenti NON efficaci alle strutture verticali



Appoggio semplice della trave metallica.

Le putrelle in ferro vengono semplicemente appoggiate sulla muratura senza essere collegate a questa. Sono assenti le barre di ancoraggio della trave metallica con la muratura o con l'eventuale cordolo.

collegamenti NON efficaci alle strutture verticali



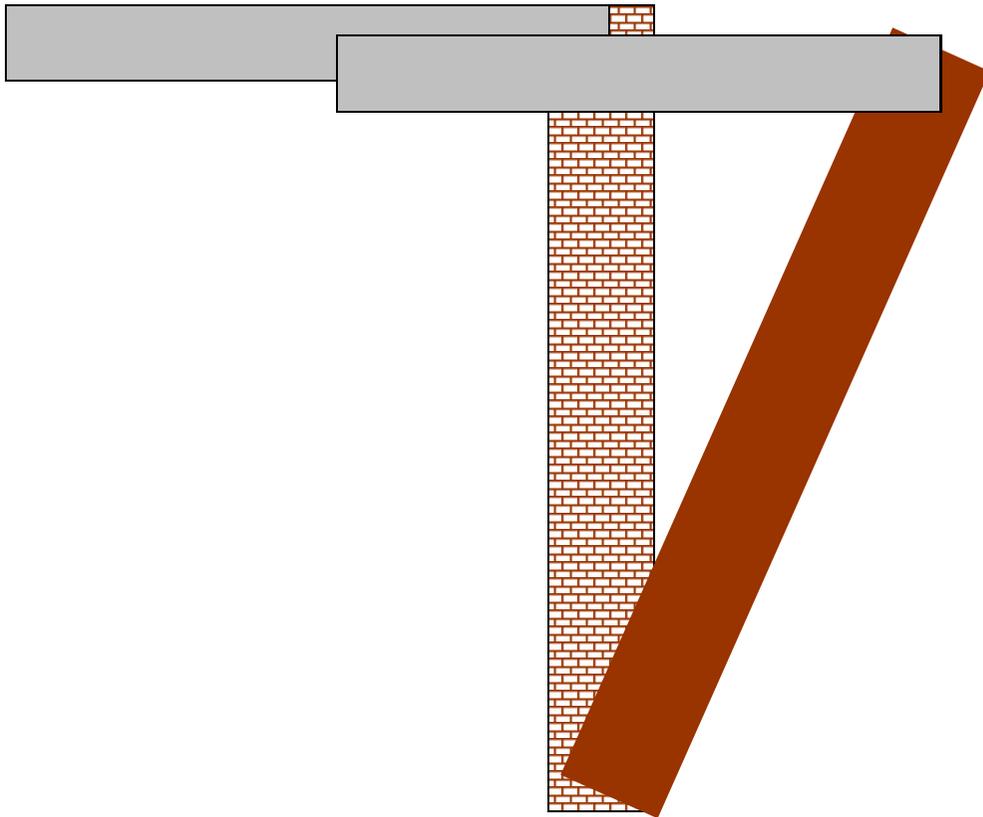
Appoggio semplice della trave in legno.

Le travi in legno sono semplicemente appoggiate sulla muratura (l'appoggio può essere costituito da un semplice dormiente). La trave in legno è priva di ancoraggio alla muratura perimetrale.

elementi caratterizzanti gli orizzontamenti

soffitto **rigido, efficacemente ammortato:**

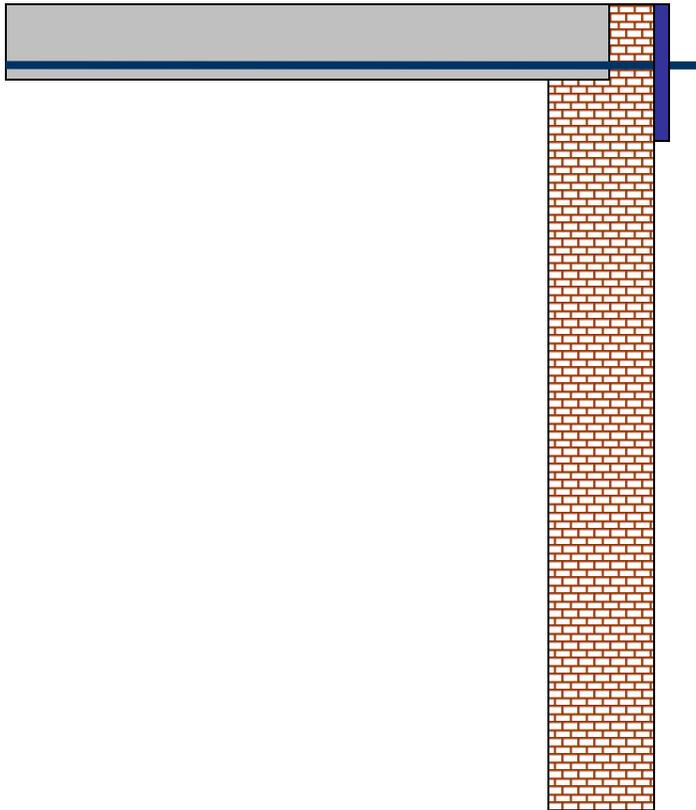
parete **vincolata in testa**



negli altri casi la parete
può risultare **NON**
vincolata in testa

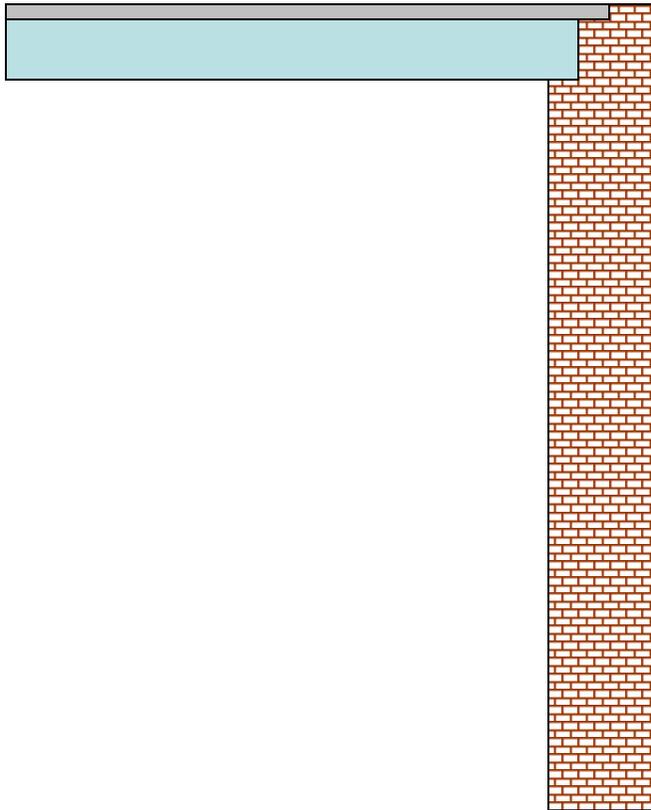
tirante

L'effetto del tirante NON viene considerato in un modello scatolare perché rientra nelle ipotesi di base

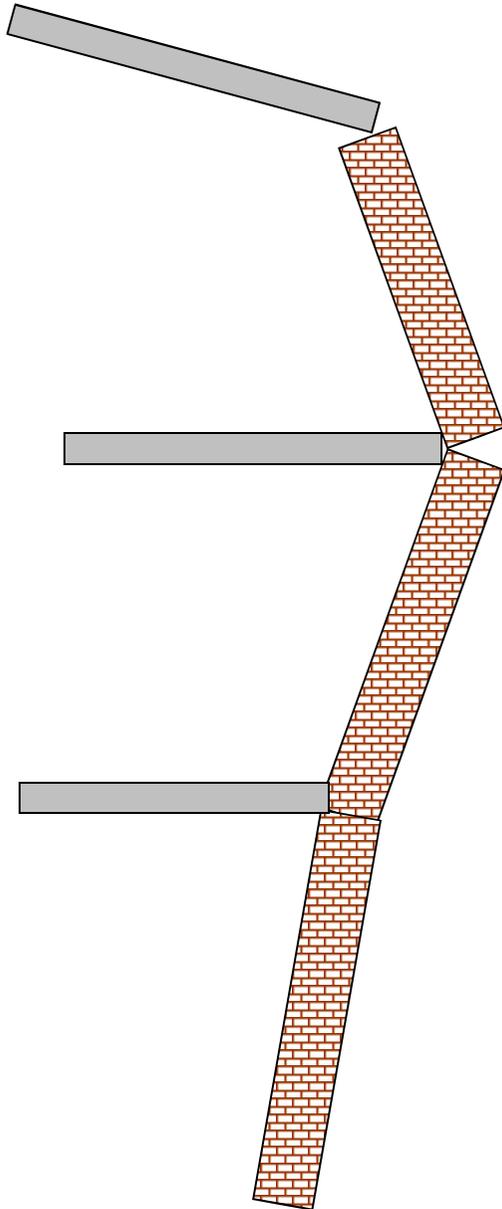


Effetti del consolidamento di un solaio

NON sono considerati in un modello
scatolare perché rientrano nelle ipotesi di
base



ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI



1. individuazione del meccanismo (cerniere)

2. definizione delle forze e masse partecipanti al meccanismo

3. equilibrio limite mediante applicazione del PRINCIPIO DEI LAVORI VIRTUALI

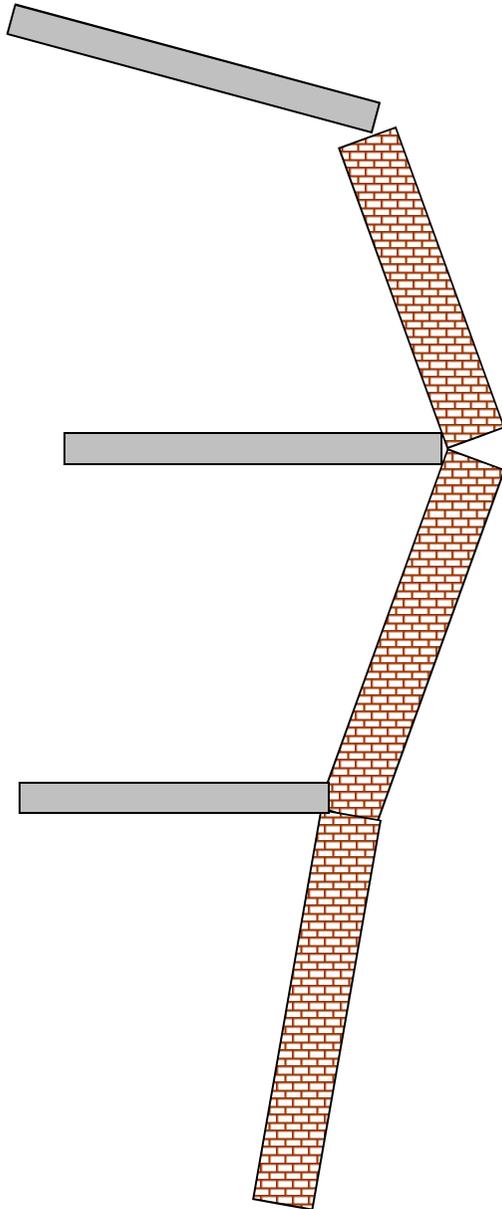
$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_x + \sum_{n+1}^m P_j \cdot \delta_x \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_y - \sum_{h=1}^o F_h \cdot \delta_h = L_i$$

4. da α_0 determinazione dei parametri sismici di verifica:

M^* Massa partecipante

a_0^* accel. spettrale di attivazione del meccanismo

ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI



Ipotesi di base:

resistenza a trazione nulla della muratura

assenza di scorrimento tra i conci

resistenza e rigidezza infinite

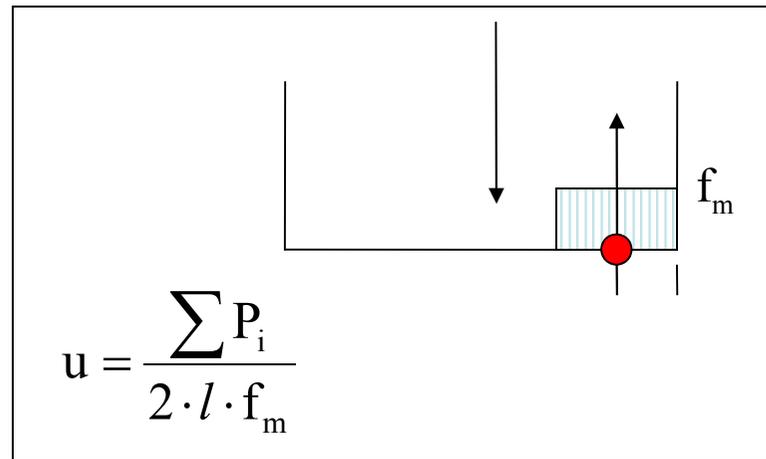
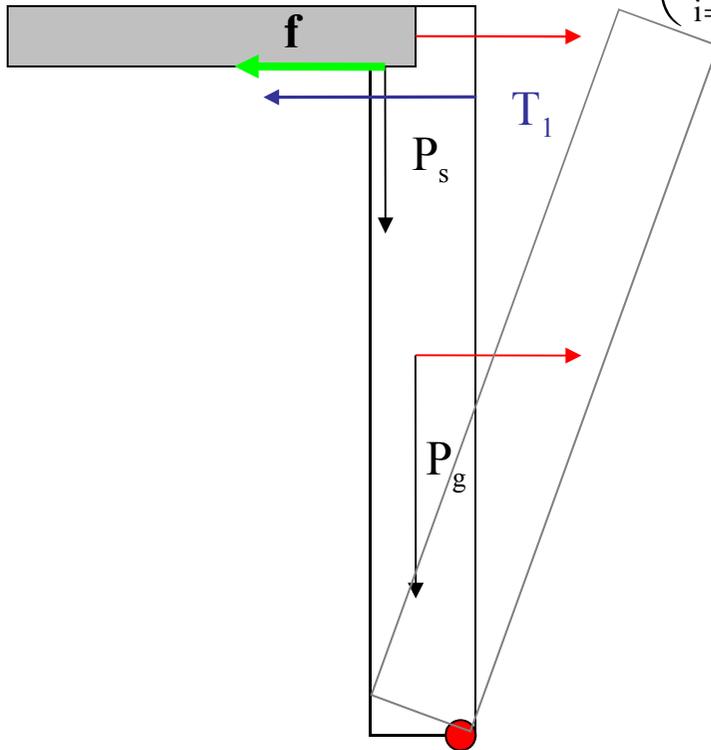
ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI

esempio

1. individuazione del meccanismo (cerniere)
2. definizione delle forze e masse partecipanti al meccanismo
3. equilibrio limite mediante applicazione del PLV

$$\alpha_o \left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_x + \sum_{j=n+1}^m P_j \cdot \delta_x \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_y - \sum_{h=1}^o F_h \cdot \delta_h = L_i$$

Si determinano gli spostamenti δ per una rotazione θ assegnata (=1)



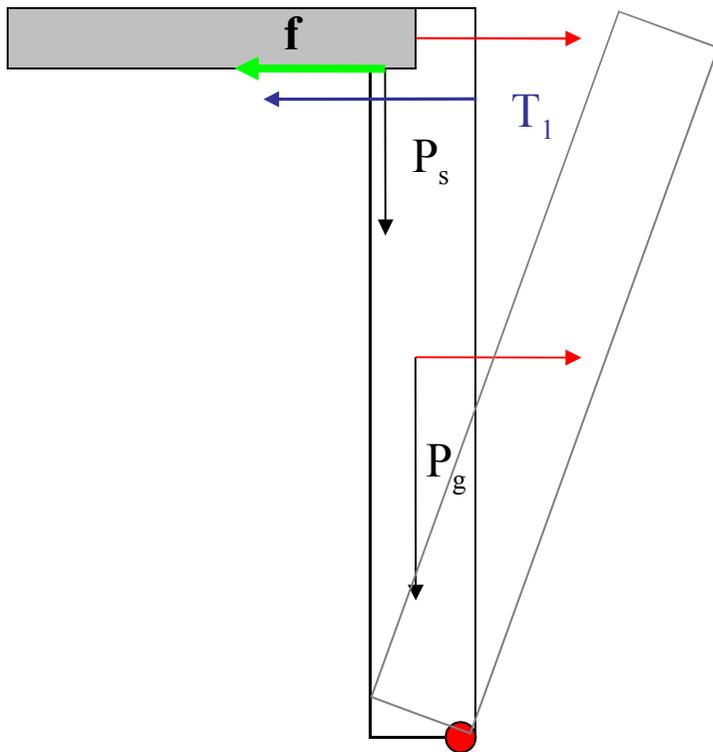
$$u = \frac{\sum P_i}{2 \cdot l \cdot f_m}$$

ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI

esempio

4. determinazione del **moltiplicatore di attivazione del meccanismo** α_0

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_x + \sum_{n+1}^m P_j \cdot \delta_x \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_y - \sum_{h=1}^o F_h \cdot \delta_h = L_i$$



5. determinazione della **massa partecipante**

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_x \right)^2}{g \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_x^2}$$

6. determinazione della **accelerazione di attivazione del meccanismo**

$$a_0^* = \alpha_0 \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{M^*}$$

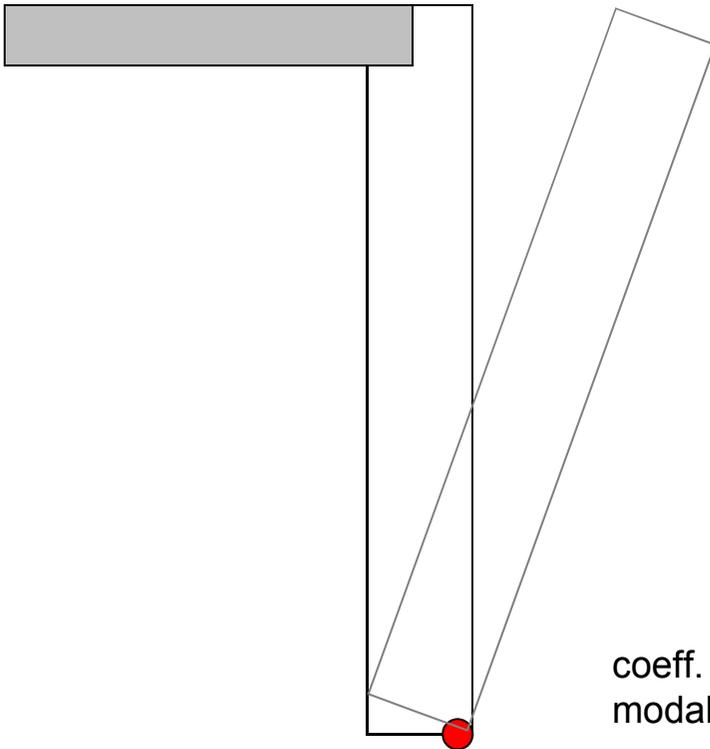
(CAPACITA')

ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI

7. determinazione delle accelerazioni di domanda

$$\text{SLD} : a_{g, \text{SLD}} = a_g(P_{\text{VR,SLD}}) * S \quad (h_c=0)$$

$$\max \left\{ a_g(P_{\text{VR,SLD}}) \cdot S; S_e(T_1) \cdot \Psi(z) \cdot \gamma \right\} \quad (h_c > 0)$$



$$\text{SLV} : a_{g, \text{SLV}} = a_g(P_{\text{VR,SLV}}) * S/q \quad (h_c=0)$$

$$\max \left\{ \frac{a_g(P_{\text{VR,SLV}}) \cdot S}{q}; \frac{S_e(T_1) \cdot \Psi(z) \cdot \gamma}{q} \right\} \quad (h_c > 0)$$

$$T_1 = C_1 H^{3/4} = 0.05 * H^{3/4}$$

$$\Psi(z) = \frac{h_c}{\sum h_i}$$

$$\gamma = \frac{3N_p}{2N_p + 1}$$

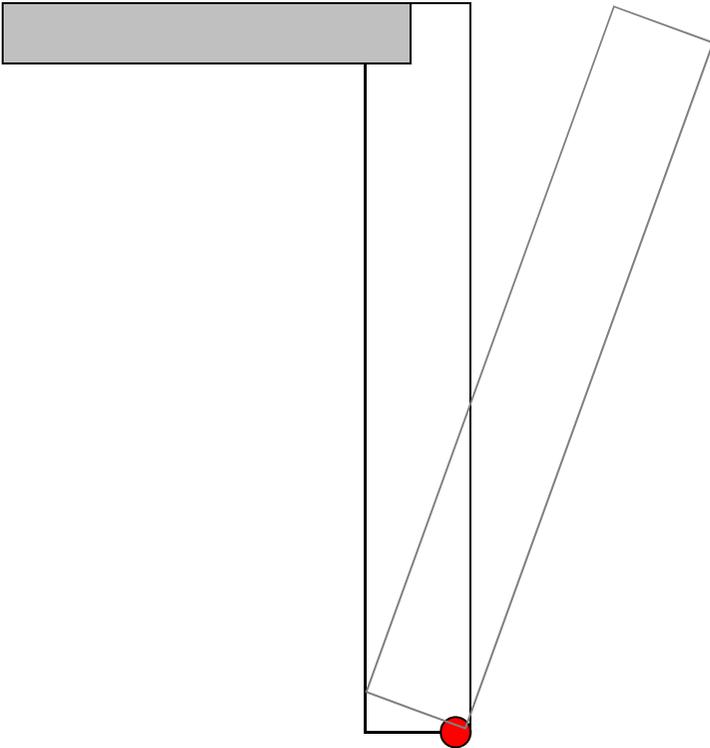
coeff. partecipazione modale

ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI

8. Verifica = capacità / domanda

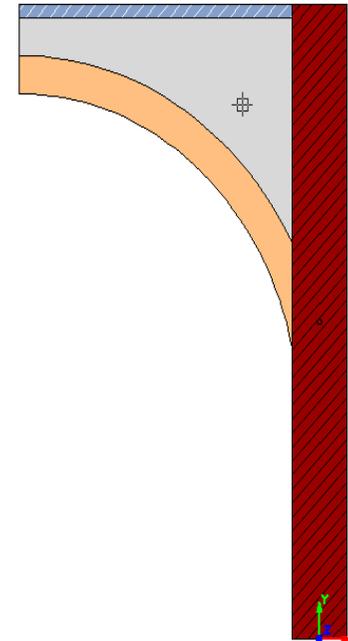
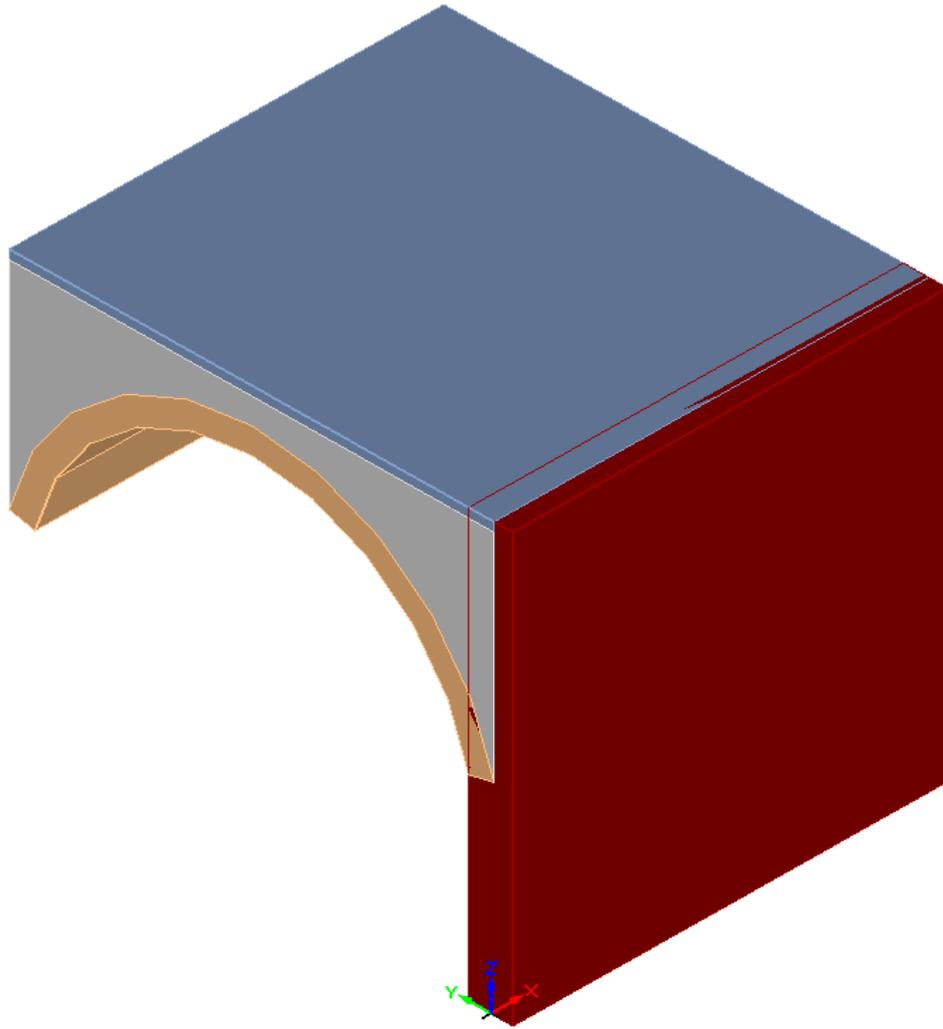
$$c_{\text{sic, SLD}} = a_0^* / a_{\text{g, SLD}}$$

$$c_{\text{sic, SLV}} = a_0^* / a_{\text{g, SLV}}$$



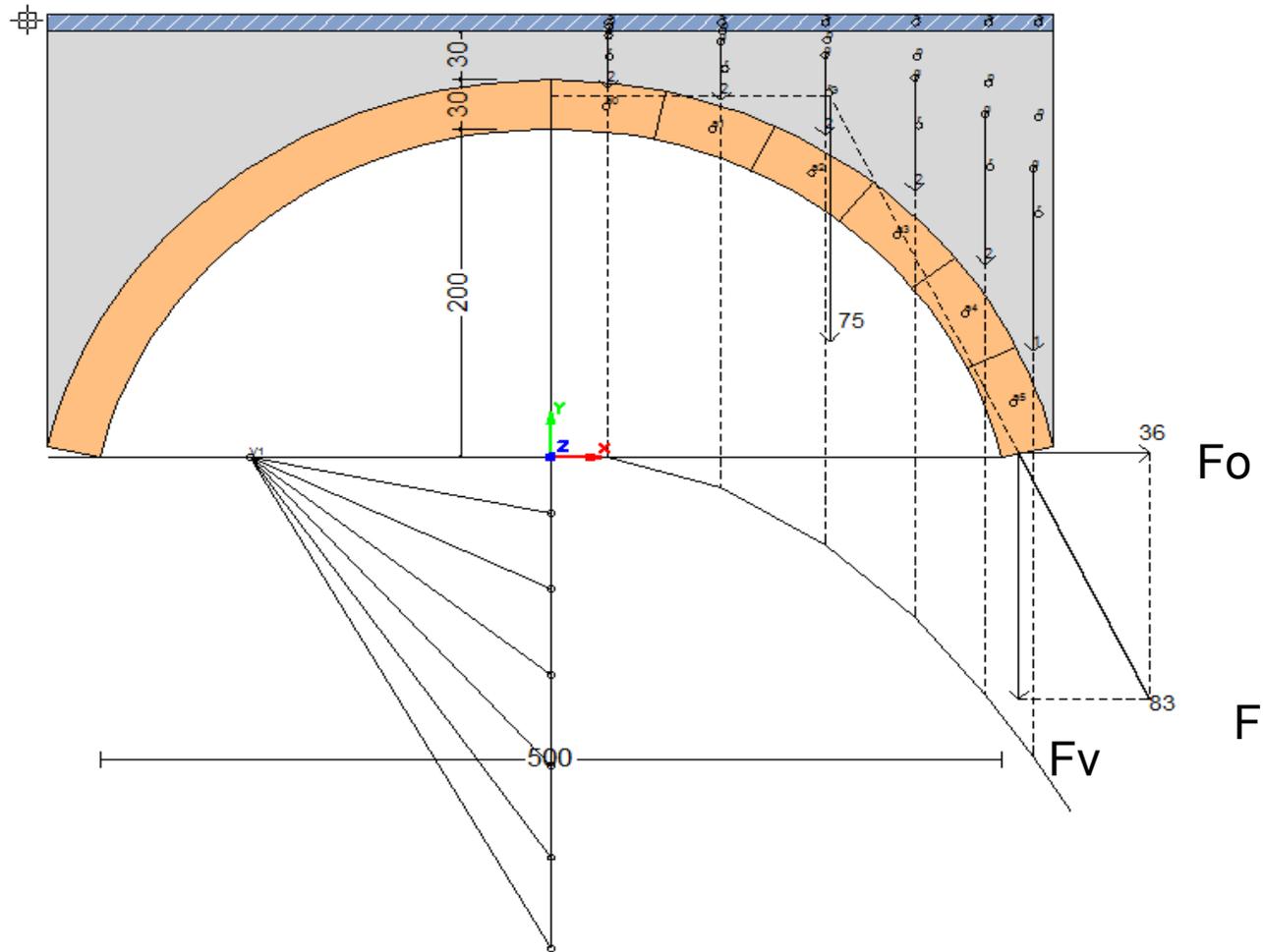
ELEMENTI STRUTTURALI

Spinta delle volte (a botte)

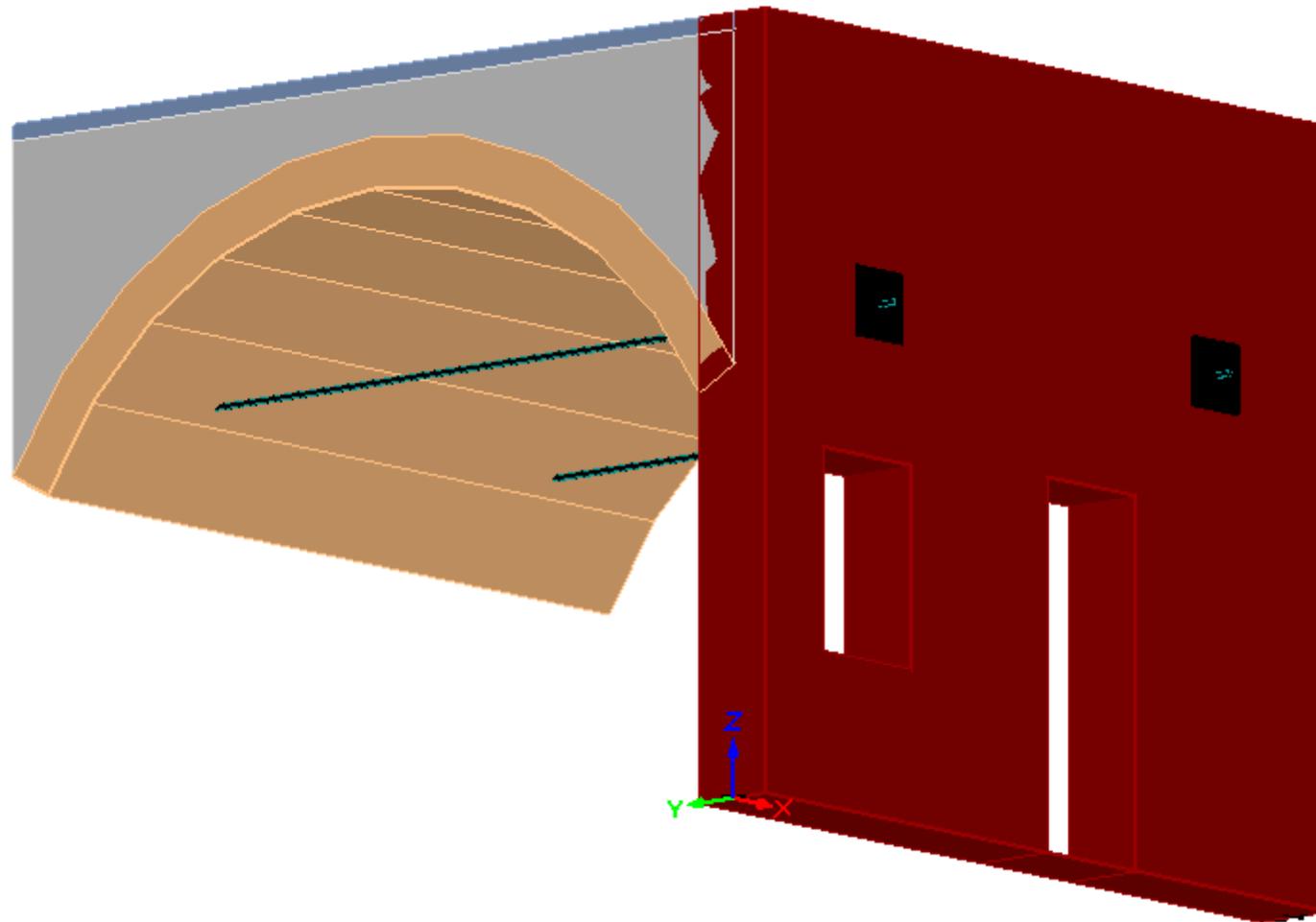


Spinta delle volte a botte

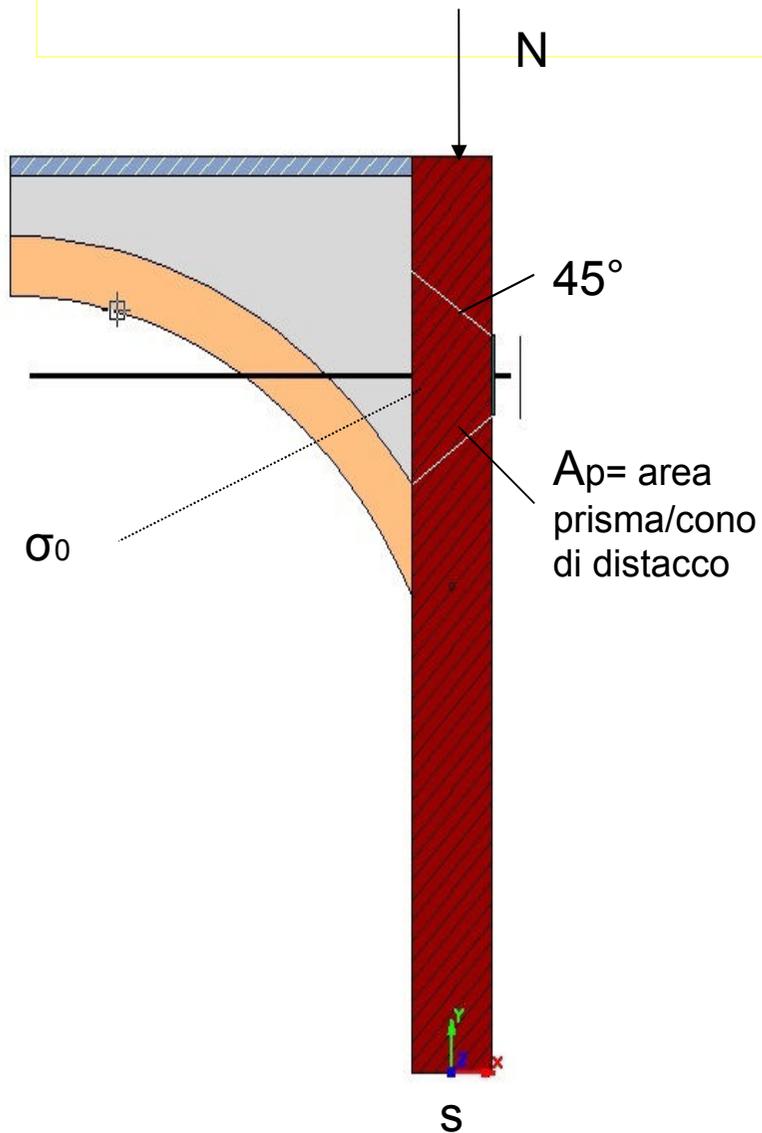
Metodo del Méry



tiranti



tiranti



1. resistenza a trazione del tirante

$$F_{\text{traz}} = A_{\text{tir}} \cdot f_{y,d}$$

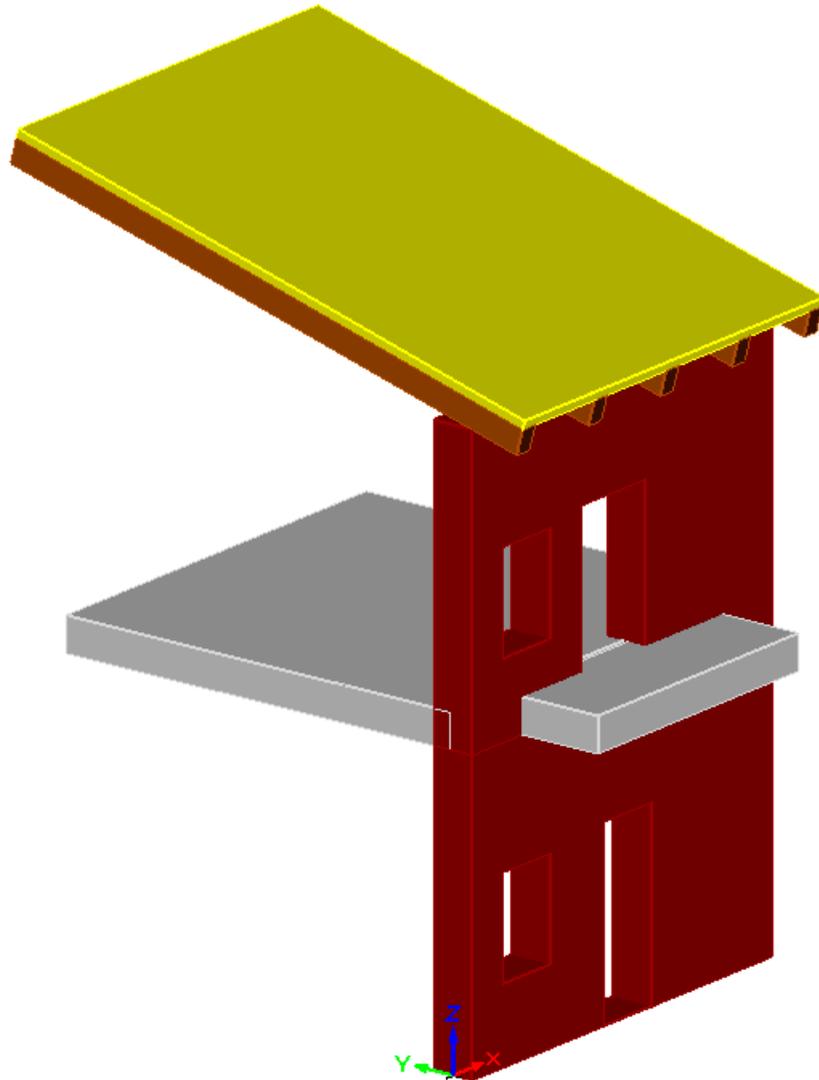
2. f max per taglio muratura (coesione)

$$F_{\text{tag}} = \frac{A_p}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\tau_{vk0}}{\gamma_m}$$

3. f max per attrito ($f=0,75$)

$$F_{\text{attr}} = \frac{A_p}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \sigma_0$$

solai



caratteristiche:

rigidi

deformabili

eff. ammorsati

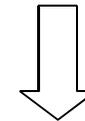
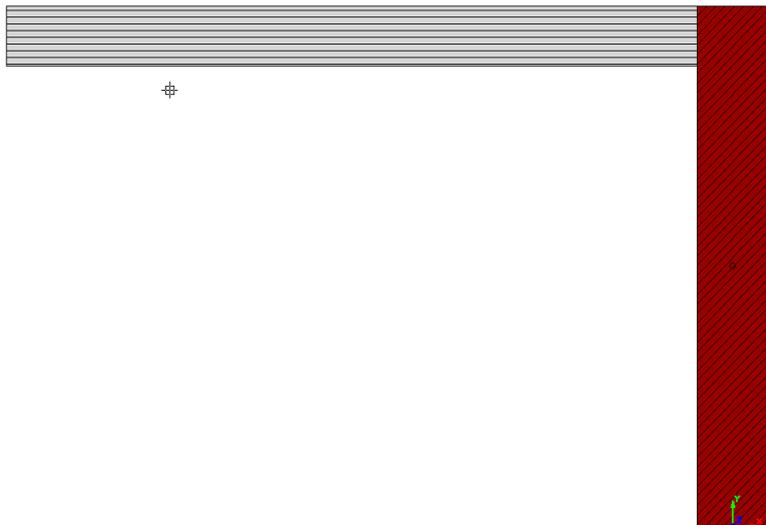
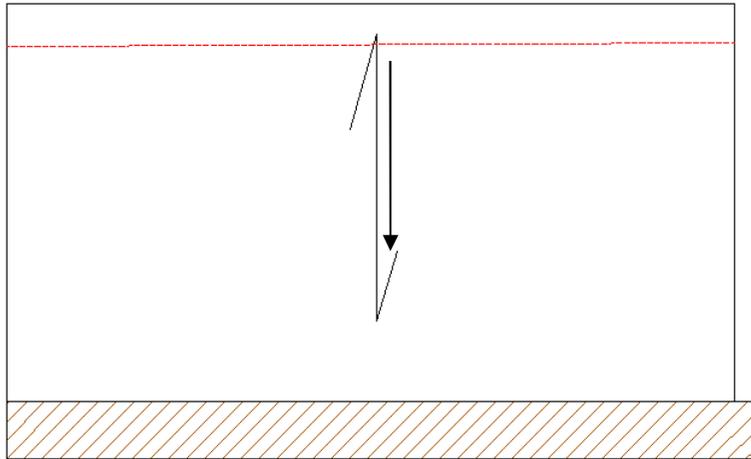
ortogonali/paralleli

solai

ordito ortogonalmente

rigido/deformabile

NON efficacemente ammorsato
alla parete



$P_{ai} = P_s/2$ (carico direttamente applicato)

$P_{nai} = 0$

massa sismica = P_{ai}

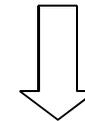
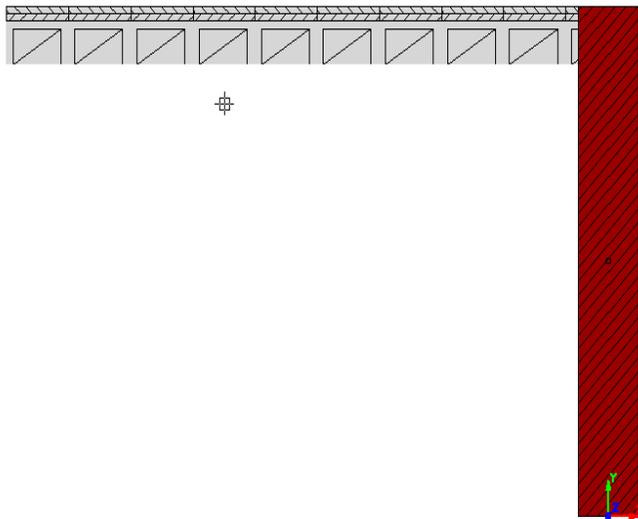
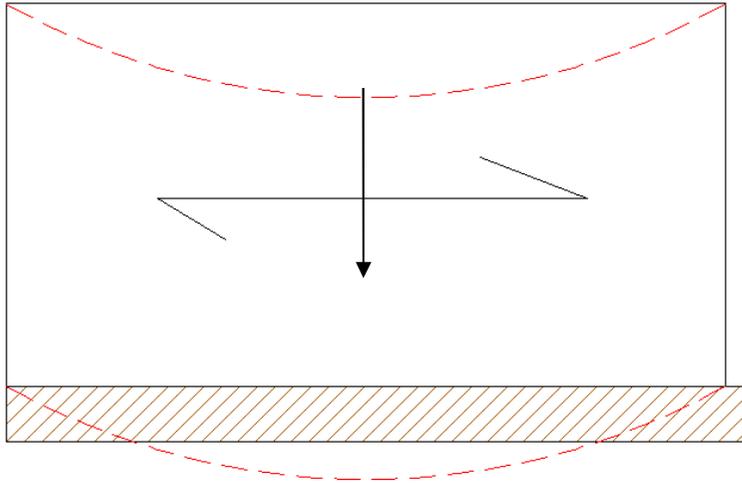
F_{stab} , attrito > 0

solai

deformabile

efficacemente ammorsato
alle pareti trasversali

ordito parallelamente



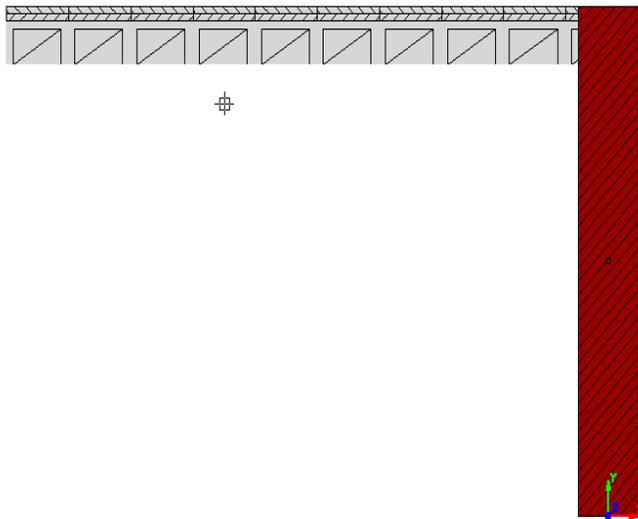
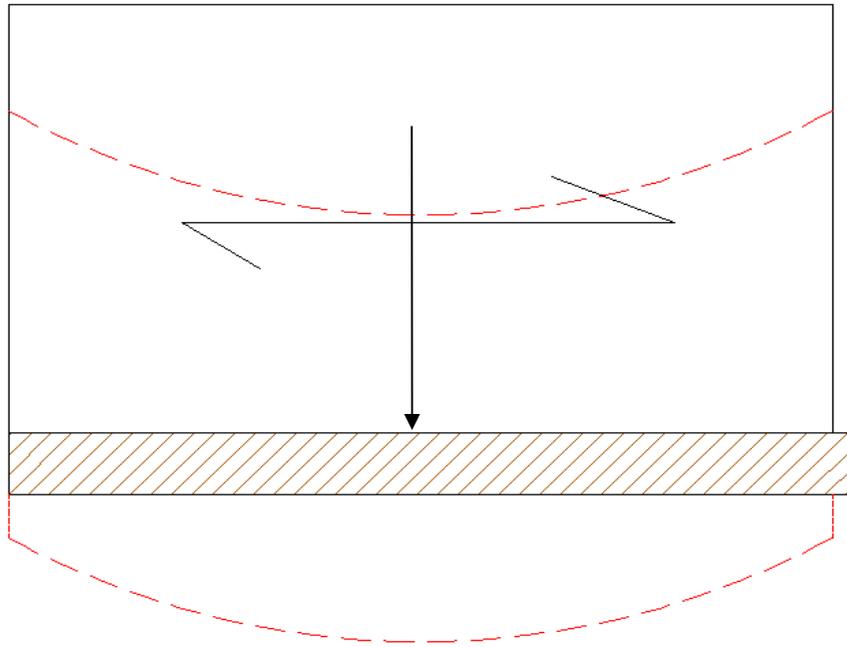
$P_{ai} = 0$ (carico direttamente applicato)

$P_{ni} = \text{massa sismica} > 0$

(% della massa in funzione della deformabilità del solaio)

$F_{stab, attrito} = 0$

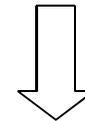
solai



deformabile

NON efficacemente
ammorsato alle pareti
trasversali

ordito parallelamente



$P_{ai} = 0$ (carico direttamente applicato)

$P_{nai} = \text{massa sismica} > 0$

(% della massa in funzione della deformabilità del solaio +
% della massa in funzione del grado di ammortamento)

$F_{stab, attrito} = 0$

ANALISI CINEMATICA DEI CORPI RIGIDI

kipendoff engineering

<http://www.pisante.com>

