

DIMENSIONAMENTO TIRANTI - ESEMPIO

Prof. Ing. Flora Faleschini
Dipartimento Ingegneria
Civile, Edile e Ambientale
VMSSE 2023/2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

INSERIMENTO DI TIRANTI

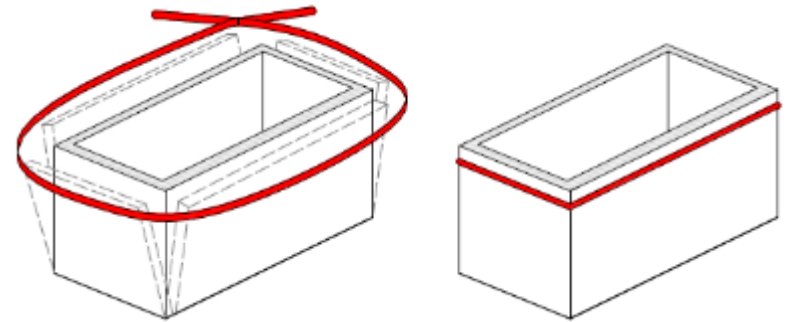
Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

- **inserimento di tiranti** →
 - cerchiature esterne
 - ammorsatura
 - perforazioni armate
 - cordoli in sommità
- Incremento connessione pareti tra loro ortogonali;
 - Riduzione vulnerabilità contro ribaltamento fuori piano;
 - Incremento resistenza nel piano delle pareti;
 - Assorbire le spinte statiche di archi, volte, tetti.

INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave.

- Fornisce elevato vincolo nei confronti del ribaltamento fuori piano
- Elevato grado di connessione tra murature disposte ortogonalmente
- Comportamento d'assieme → prerequisite essenziale per l'applicazione dei metodi di analisi sismica globale dell'edificio.



INSERIMENTO DI TIRANTI

Elementi costituenti:

- Tirante;
- Capochiave;
- Giunto di connessione.

TIRANTE/CATENA: i tiranti in acciaio ad alto limite elastico presollecitati, possono essere realizzati con:

- barre in acciaio speciale per c.a.p.
- Piatti a sezione rettangolare
- trefoli, o cavi in acciaio armonico.

➔ Sezioni circolari utilizzate quando si alloggiano i tiranti all'interno della muratura / sezioni rettangolari quando sono collocati all'estradosso del solaio o nel sottofondo dei pavimenti.

➔ Spesso vengono INGUAINATI e poi viene INIETTATA una MALTA CEMENTIZIA per ridurre la probabilità di corrosione.

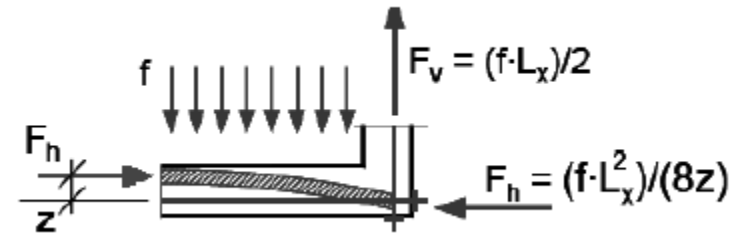
INSERIMENTO DI TIRANTI

Le catene possono essere:

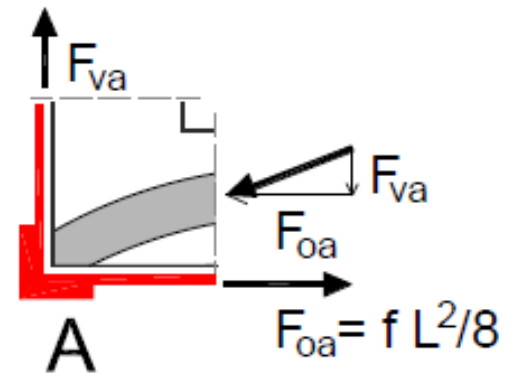
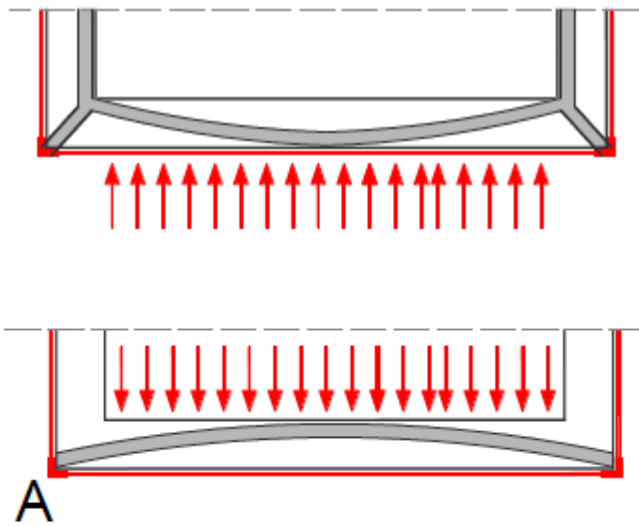
- **esterne**, oppure alloggiate **entro scanalature** di qualche centimetro di profondità o, raramente, **entro fori** praticati con la carotatrice.
- **attive, passive, aderenti o non aderenti**. Le catene attive con debole pretensione e non aderenti limitano la fessurazione e rendono l'intervento quasi reversibile ma devono essere protette dalla corrosione.
- **tesate** con martinetto o con sistemi a vite.

NB: adottare tensioni limitate, tali da produrre nelle murature tensioni di compressione nettamente inferiori ai valori ritenuti ammissibili.

INSERIMENTO DI TIRANTI



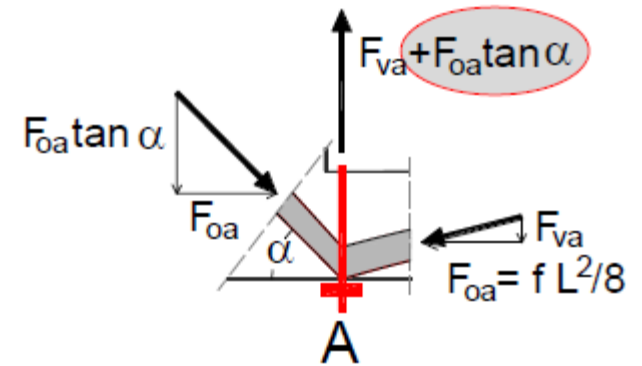
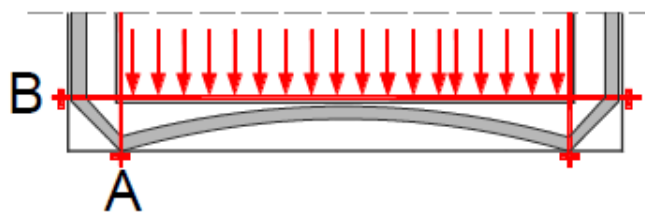
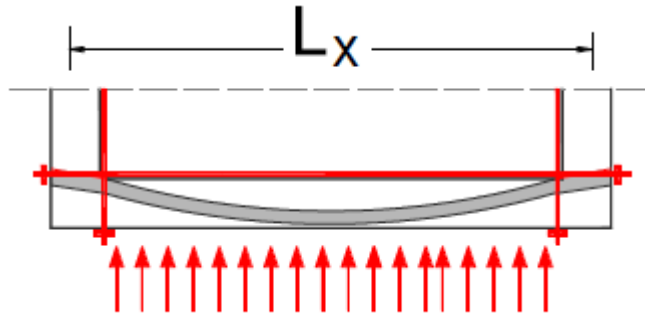
Inserimento di tiranti (metallici o altro): TIRANTE/CATENA



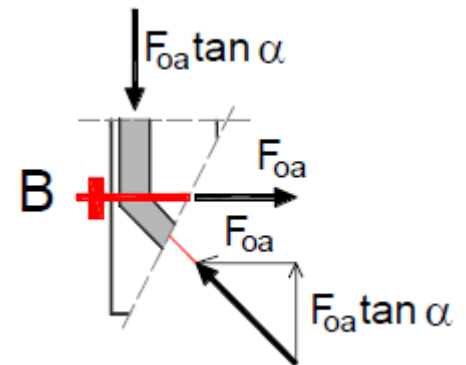
PRO: meno sollecitate
CONTRO: impatti visivo

INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): TIRANTE/CATENA



PRO: non visibili
CONTRO: più sollecitate



INSERIMENTO DI TIRANTI

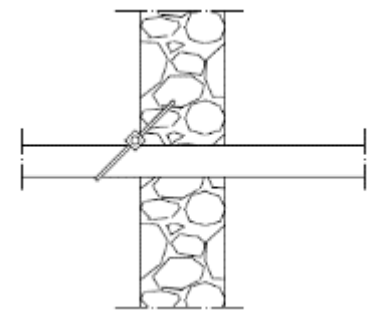
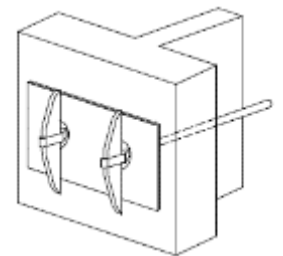
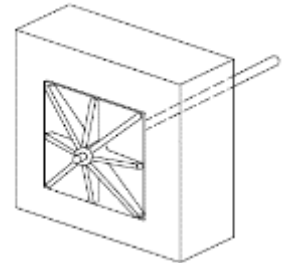
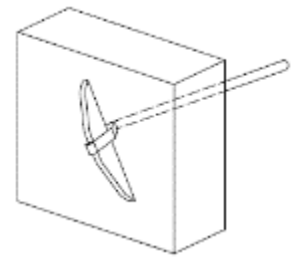
Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

Per il capochiave possono essere utilizzati **paletti semplici (bolzoni) o piastre.**

Murature scadenti: necessitano di rinforzo locale e si preferisce l'uso delle piastre.

In generale: preferibile utilizzare bolzoni, perché interessano una quantità maggiore di materiale.

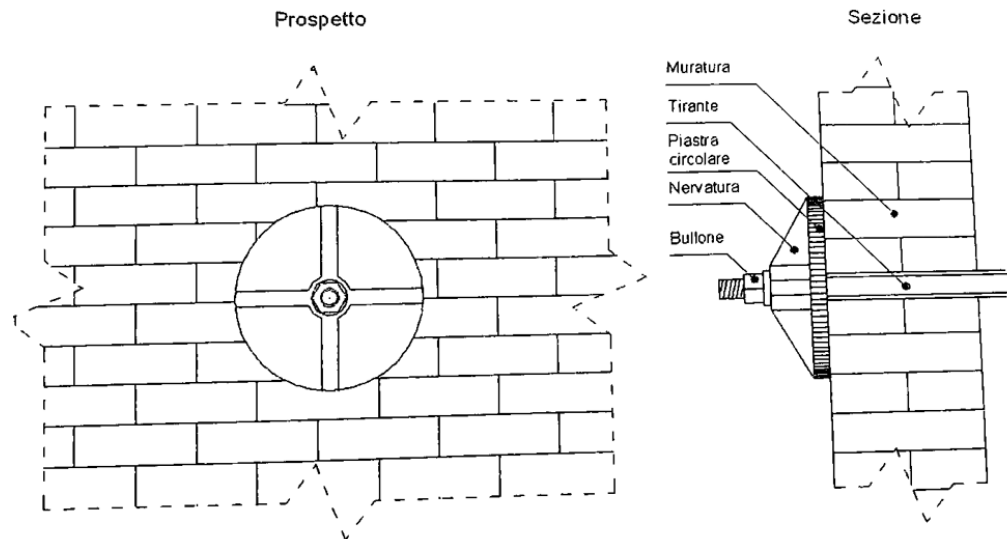
E' sconsigliabile incassare il capochiave nello spessore della parete, specie nel caso di muratura a più paramenti scollegati.



INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

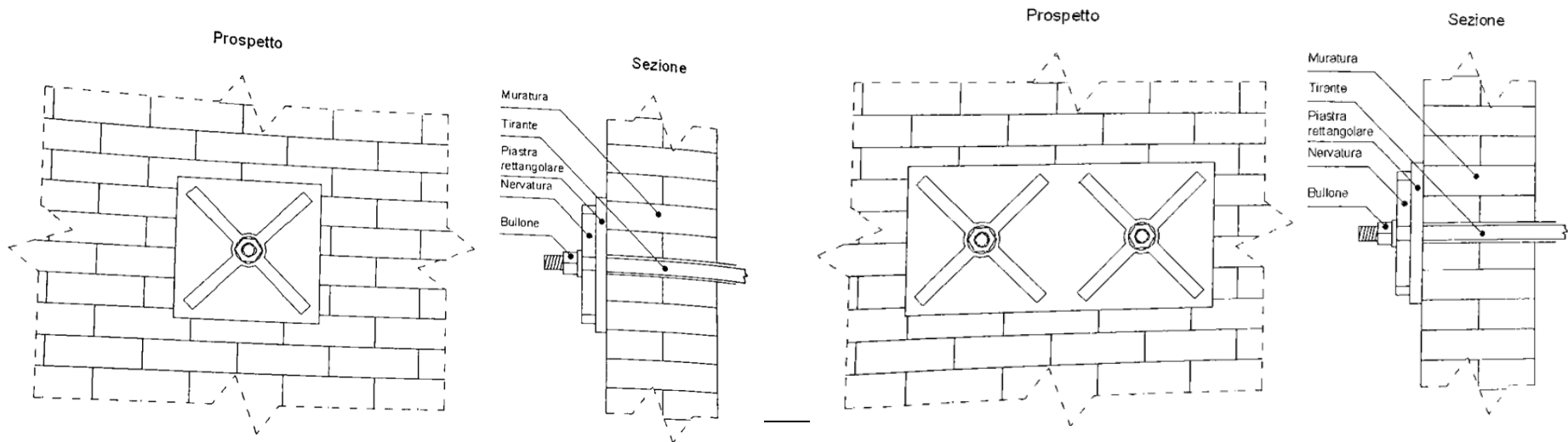
- **CAPOCHIAVE CIRCOLARE:** piastra circolare di diametro 20 -50 cm; generalmente la piastra è rinforzata mediante nervature triangolari disposte a raggiera. Il capochiave circolare permette di tensionare il tirante con bulloni o cunei inseriti nell'occhiello di estremità.



INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

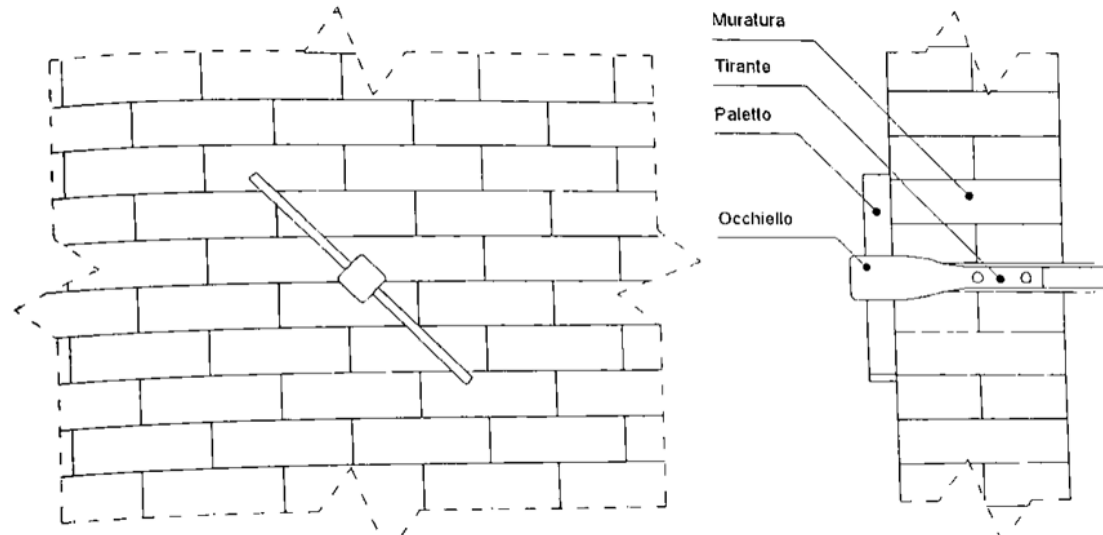
- **CAPOCHIAVE RETTANGOLARE / QUADRATO (SINGOLO O DOPPIO):** piastra rettangolare o quadrata di lato 20 -50 cm (dimensioni anche maggiori nel caso di doppio tirante); generalmente la piastra è rinforzata mediante nervature. Il capochiave permette di tensionare il tirante con bulloni o cunei inseriti nell'occhiello di estremità. La casistica con doppio tirante si utilizza generalmente nei muri di spina.



INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

- **CAPOCHIAVE CON PALETTO:** Costituito da uno o più paletti metallici. La lunghezza del paletto varia da 60 cm a 120 cm. Possono essere utilizzati anche paletti più corti (con raggiungimento di tensioni molto elevate sul paletto stesso). Paletti molto lunghi possono subire deformazioni eccessive una volta tensionato il tirante, con conseguenti possibili distacchi della muratura agli estremi. All'estremo del tirante è prevista la presenza di un bullone o di un occhiello.

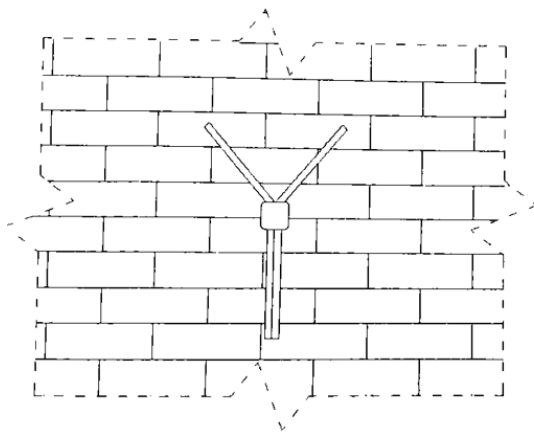


INSERIMENTO DI TIRANTI

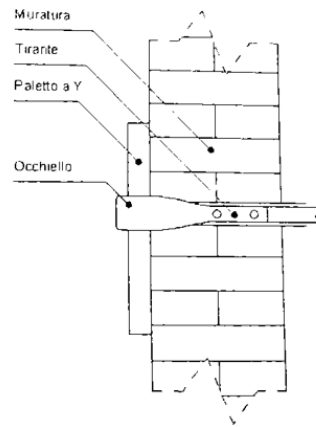
Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

- CAPOCHIAVE CON PALETTO AD Y: Variante di paletto quando non è possibile inserire il capochiave a 45°.
- CAPOCHIAVE CON DUE PROFILI UPN: Formato da due profili UPN affiancati, collegati rigidamente da piastre metalliche. Offre una rigidità ed una superficie di impronta maggiore. La pretensione viene offerta dai bulloni posti all'estremità dei tiranti stessi.

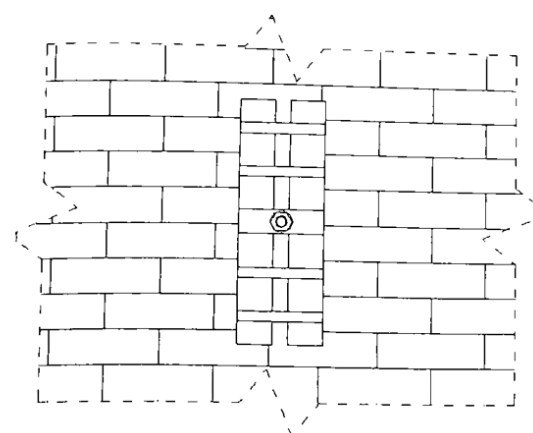
Prospetto



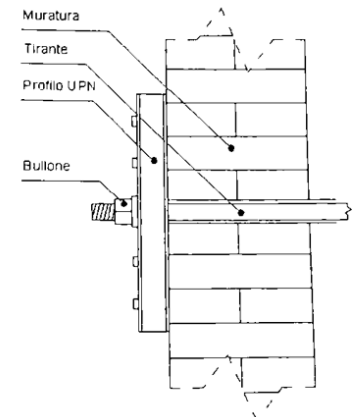
Sezione



Prospetto



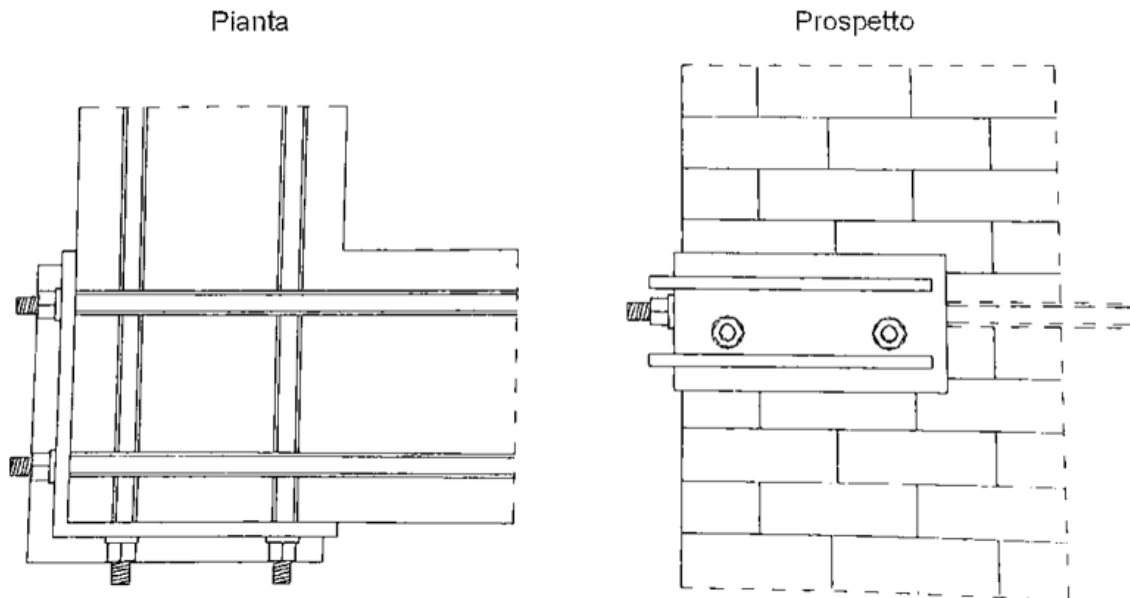
Sezione



INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): CAPOCHIAVE

- **CAPOCHIAVE D'ANGOLO:** si utilizzano quando su entrambi i muri che convergono in un cantonale sono presenti dei tiranti. Si ha una piastra a L rinforzata agli estremi laterali con nervature. Possono collegare uno o due tiranti per lato. La pretensione è sempre offerta dai bulloni all'estremità del tirante.

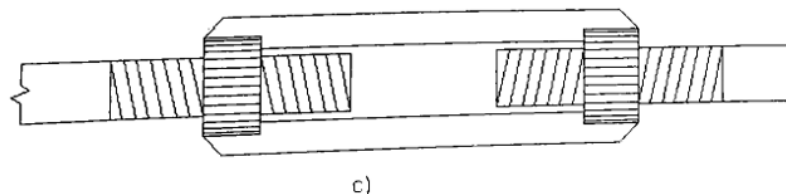
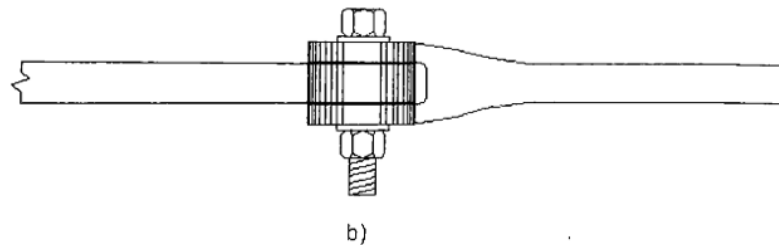
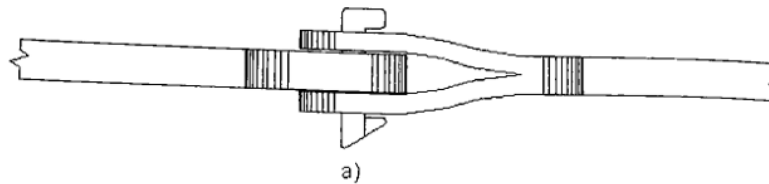


INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): GIUNTI DI CONNESSIONE

Vengono utilizzati quando non si dispone di barre sufficientemente lunghe o quando c'è l'esigenza di dare una presollecitazione al tirante (nei casi in cui non è prevista la tesatura mediante bullone di estremità). Tra le tipologie più ricorrenti si menzionano:

- a) Forchetta con spinotto
- b) Cerniera con bullone e dado
- c) Manicotto di tensione



INSERIMENTO DI TIRANTI

Inserimento di tiranti (metallici o altro): TIRANTE/CATENA

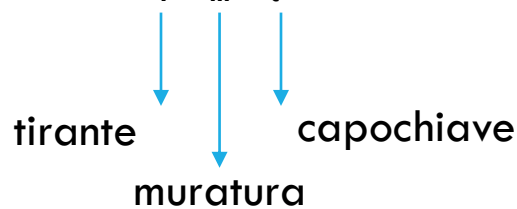
Elementi che riducono o annullano del tutto l'efficacia dell'intervento:

- **eccessiva snellezza della parete (rapporto Luce/spessore muro > 10);**
- **presenza di canne fumarie/intercapedini che impediscono la formazione dell'arco di muratura compressa (no formazione sistema arco-catena);**
- **murature di qualità scadente, incapace di sostenere la compressione dell'arco di scarico;**
- **elevate irregolarità geometriche in pianta.**

INSERIMENTO DI TIRANTI

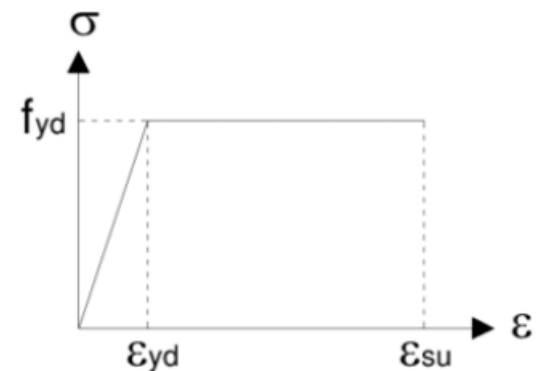
Resistenza del tirante

$$T = \min (T_t, T_m, T_c)$$



$$T_t = \text{massima resistenza del cavo del tirante} = f_{yd} \cdot A_t$$

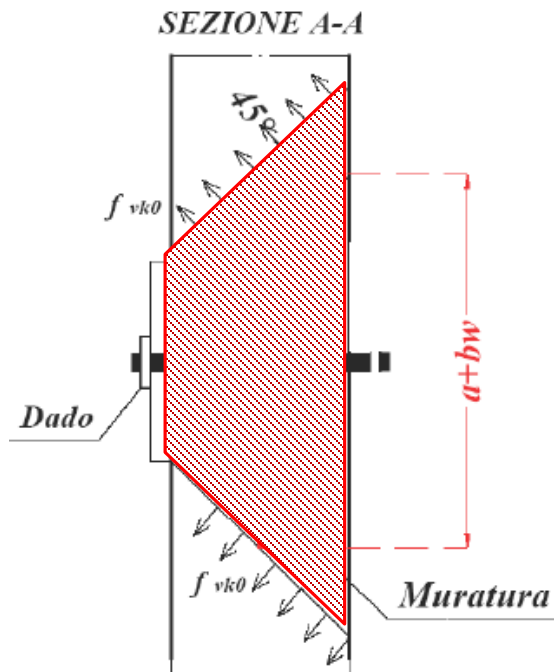
Il tirante è un elemento strutturale sollecitato a semplice trazione, e per cui è possibile anche valutarne in modo semplice la capacità di deformazione mediante il legame costitutivo del materiale di cui è realizzato.



INSERIMENTO DI TIRANTI

Resistenza del tirante: contributo della muratura a tergo del capochiave

Verifica locale della muratura in corrispondenza del capochiave



La resistenza della muratura è funzione della geometria del capochiave, della geometria e caratteristiche meccaniche della muratura.

$$T_m = \min (T_{m,a}; T_{m,t})$$

Resistenza a trazione della muratura rispetto la modalità di rottura troncoconica per distacco a tergo del capochiave

Resistenza a taglio della muratura rispetto la modalità di rottura per scorrimento di un cilindro di muratura

INSERIMENTO DI TIRANTI

Resistenza del tirante: contributo del capochiave

Verifica locale della muratura in corrispondenza del capochiave

La forza di trazione agente nel tirante è equilibrata dal capochiave per effetto del contatto con la muratura. Pertanto, affinché il tirante sia efficace, è possibile dimensionare con un approccio semplificato le dimensioni del capochiave atto a resistere almeno le sollecitazioni pari a quelle massime agenti nel tirante.

Ipotesi di calcolo: capochiave rigido; forza trasmessa dal tirante T è equilibrata da una tensione uniformemente distribuita su tutta la superficie di contatto del capochiave. Le formule dipendono dalla geometria del tirante.

ESEMPIO

Si vuole dimensionare i tiranti necessari a prevenire il meccanismo di ribaltamento della facciata di un edificio di culto.

Dati

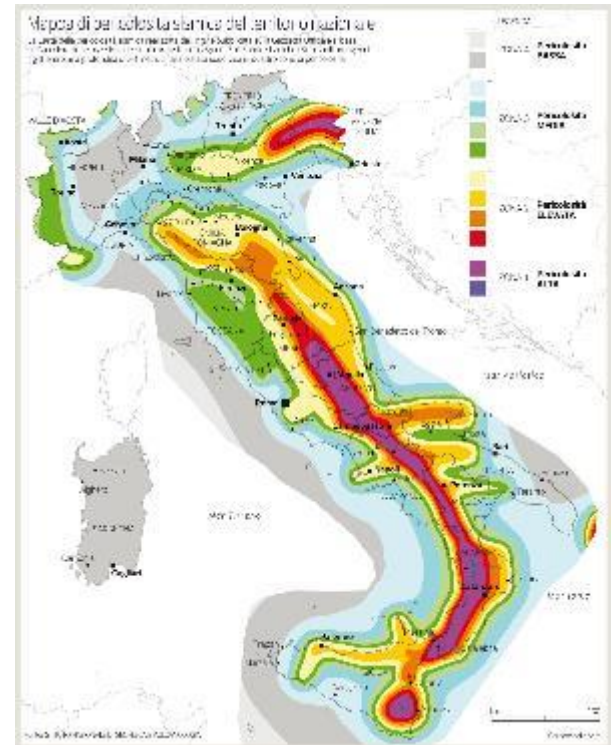
Ubicazione: Ferrara

$V_N = 50$ anni

$C_U = 1$ (classe II)

$V_R = 50$ anni

$$T_R = \frac{-V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$



SLD **SLV**

Probabilità di superamento	$P_{VR} =$	0,63	0,1
Periodo di riferimento dell'azione sismica	$T_R =$	50	475 anni

ESEMPIO

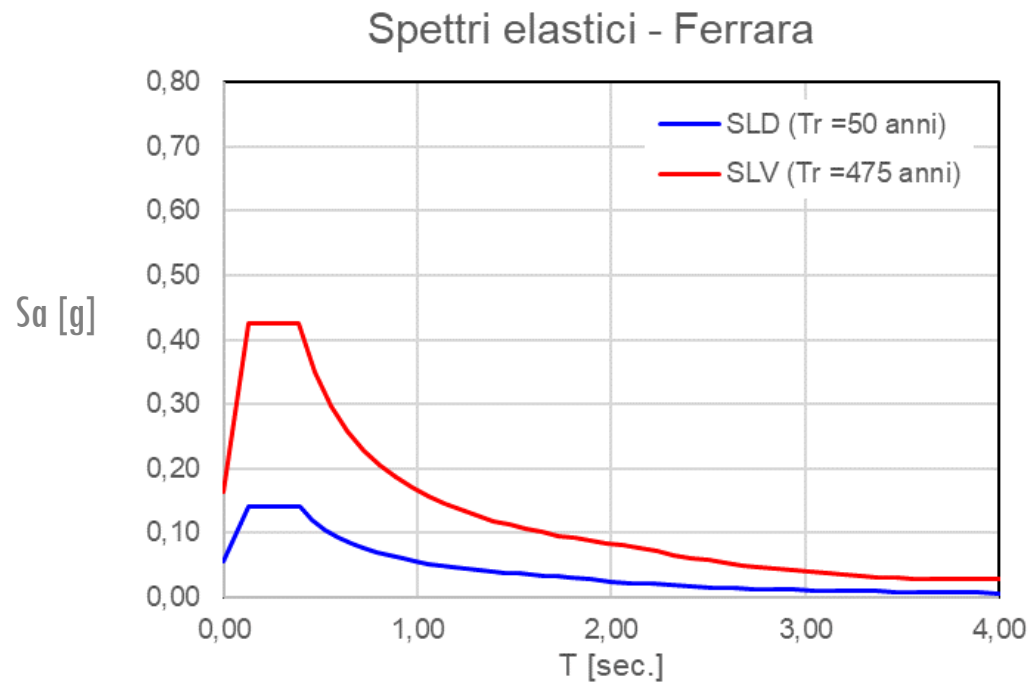
Si vuole dimensionare i tiranti necessari a prevenire il meccanismo di ribaltamento della facciata di un edificio di culto.

Per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica e topografica, si assume rispettivamente una categoria di sottosuolo B ed una categoria topografica T1.

<i>Sito della costruzione</i>	<i>Ferrara</i>				<i>Categoria sottosuolo</i>	<i>B</i>	
		<i>SLD</i>	<i>SLV</i>		<i>Categoria topografica</i>	<i>T1</i>	
						<i>SLD</i>	<i>SLV</i>
Probabilità di superamento	$P_{VR} =$	0,63	0,1				
Periodo di riferimento dell'azione sismica	$T_R =$	50	475	anni	Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1,20 1,20(-)
Accelerazione orizzontale massima suolo rigido	$a_g =$	0,047	0,137	g	Coefficiente tratto a velocità costante	$C_c =$	1,42 1,43(-)
Valore massimo del fattore amplificazione	$F_0 =$	2,496	2,594	(-)	Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1 1(-)
Periodo di inizio del tratto a velocità costante	$T_c^* =$	0,275	0,273	sec.	Coefficiente di amplificazione	$S =$	1,20 1,20(-)
					Accelerazione orizzontale	$a_g S =$	0,06 0,16 g

ESEMPIO

Si vuole dimensionare i tiranti necessari a prevenire il meccanismo di ribaltamento della facciata di un edificio di culto.



ESEMPIO

Si vuole dimensionare i tiranti necessari a prevenire il meccanismo di ribaltamento della facciata di un edificio di culto.

Definizione del Fattore di Confidenza F_c

Rilievo geometrico	$F_{c1} =$	0(-)
Specificità storiche e costruttive	$F_{c2} =$	0,06(-)
Proprietà dei materiali	$F_{c3} =$	0,12(-)
Terreno e fondazioni	$F_{c4} =$	0,06(-)
Linee guida - Eq. 4.1	$F_c =$	1,24(-)

Materiali

$$f_m = 1.86 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 6 \text{ kN/m}^3$$

$$f_d = \frac{f_m}{F_c \cdot \gamma_s} = 0,75 \text{ MPa}$$

Peso copertura

Strutturale

Travi di legno 0.6 kN/m²

Permanente portato

Controsoffitto 1.5 kN/m²

Tavellonato laterizio 0.8 kN/m²

Coppi 0.7 kN/m²

Totale

Peso copertura 3.6 kN/m²

ESEMPIO

1) Definizione delle masse sismiche

Parete

$$P_1 = 12.5 * 11.2 * 0.55 * 18 * (1 - 0.12) = 1219,68 \text{ kN}$$

$$x_{g_1} = \frac{0.55}{2} = 0.275 \text{ m}$$

$$y_{g_1} = \frac{11,2}{2} = 5.6 \text{ m}$$

Timpano

$$P_2 = \frac{12.5}{2} * 3.2 * 0.55 * 18 * (1 - 0.12) = 174.24 \text{ kN}$$

$$x_{g_2} = \frac{0.55}{2} = 0.275 \text{ m}$$

$$y_{g_2} = 11.2 + \frac{3.2}{3} = 12.27 \text{ m}$$

Copertura

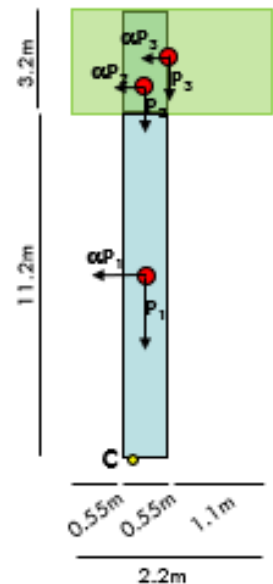
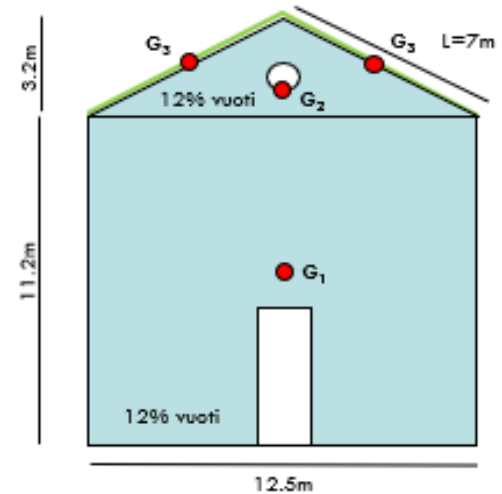
$$L = \sqrt{3.2^2 + \frac{12.5^2}{2}} = 7 \text{ m}$$

$$P_3 = 2 * 7 * 2.2 * 3.6 = 111.2 \text{ kN}$$

$$x_{g_3} = 0.55 \text{ m}$$

$$y_{g_3} = 11.2 + \frac{3.2}{2} = 12.8 \text{ m}$$

La muratura è considerata completamente non reagente a trazione e si ipotizza una distribuzione lineare delle tensioni di compressione.



ESEMPIO

2) Calcolo arretramento cerniera

$$P_{tot} = 1219.68 + 174.24 + 111.2 = 1505.12 \text{ kN}$$
$$t = \frac{2 * P_{tot}}{3 * L * f_d} = \frac{2 * 1505.12}{1000 * 3 * 12.5 * 0.75} = 0.107 \text{ m}$$

Distanza baricentro con cerniera spostata:

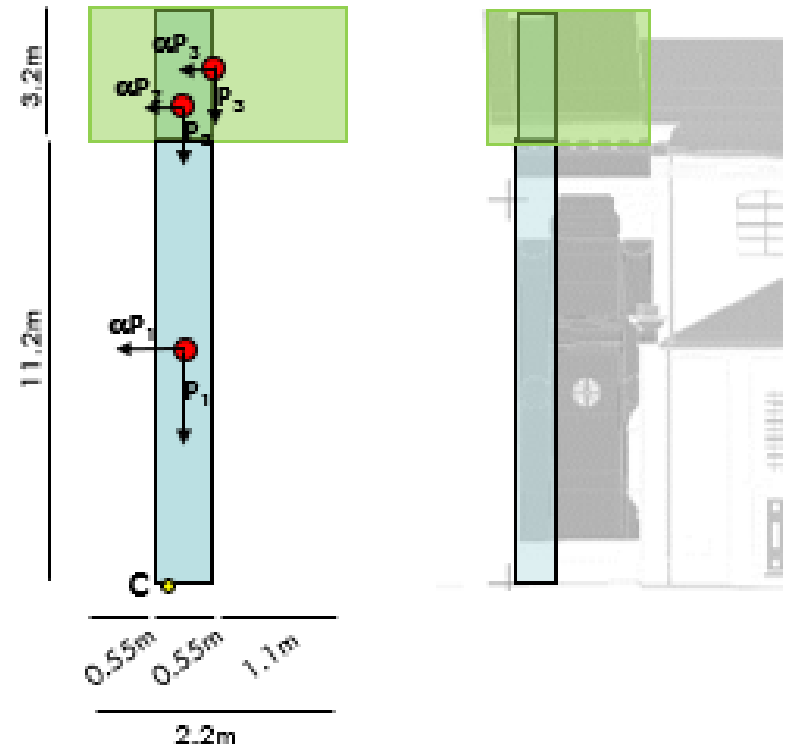
$$x'_{g_1} = x_{g_1} - t = 0.275 - 0.107 = 0.168 \text{ m}$$
$$x'_{g_2} = x_{g_2} - t = 0.275 - 0.107 = 0.168 \text{ m}$$
$$x'_{g_3} = x_{g_3} - t = 0.55 - 0.107 = 0.443 \text{ m}$$

Momento stabilizzante

$$M_{stab} = P_1 * x'_{g_1} + P_2 * x'_{g_2} + P_3 * x'_{g_3} = 1219.68 * 0.168 + 174.24 * 0.168 + 111.2 * 0.443$$
$$= 283.4 \text{ kNm}$$

Momento ribaltante

$$M_{rib} = P_1 * y_{g_1} + P_2 * y_{g_2} + P_3 * y_{g_3} = 1219.68 * 5.6 + 174.24 * 12.27 + 111.2 * 12.8$$
$$= 10391.49 \text{ kNm}$$



ESEMPIO

3) Parametri dell'oscillatore equivalente

Moltiplicatore orizzontale

$$\alpha_0 = \frac{M_{stab}}{M_{rib}} = \frac{283.40}{10391.49} = 0.0273 \quad \leftarrow \text{Moltiplicatore di collasso}$$

Massa partecipante

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2} = \frac{(1219.68 * 5.6 + 174.24 * 12.27 + 111.2 * 12.8)^2}{9.81 * (1219.68 * 5.6^2 + 174.24 * 12.27^2 + 111.2 * 12.8^2)} = 133 \text{ ton}$$

Frazione massa partecipante

$$e^* = \frac{M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i} g = \frac{9.81 * 133}{1505.1} = 0.866$$

Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

$$a_0^* = \frac{\alpha_0}{e^* \cdot F_C} g = \frac{0.0273}{0.866 * 1.24} g = 0.0254g \quad \leftarrow \text{Accelerazione spettrale di attivazione}$$

ESEMPIO

3) Verifica (analisi cinematica lineare)

Stato Limite di Danno (SLD)

$$a_g * S = 0.06g \Rightarrow a_0^* < 0.06g \Rightarrow \text{NON è verificata}$$

Stato Limite di Salvaguardia della vita (SLV)

$$\frac{a_g * S}{q} = \frac{0.16}{2} g = 0.08g \Rightarrow a_0^* < 0.08g \Rightarrow \text{NON è verificata}$$

Dimensionamento catene necessarie. Si impone

$$a_0^* = \frac{\alpha_0}{e^* \cdot F_C} g = 0.08g$$

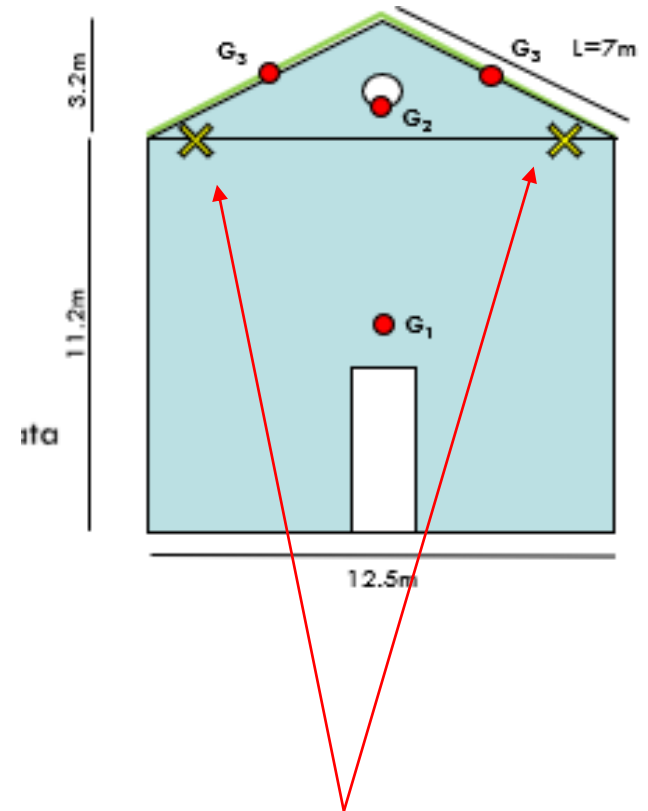
da cui

$$\alpha_0 = \frac{M_{stab} + n * T * h_c}{M_{rib}} = 0.08 * e^* \cdot F_C$$

$$T = \frac{0.08 * e^* \cdot F_C * M_{rib} - M_{stab}}{n * h_c} = \frac{0.08 * 0.866 * 1.24 * 10391.5 - 283.4}{2 * 11.2} = 27.20 \text{ kN}$$

$$\text{Con AISI 304 } (f_y = 240 \text{ MPa}) \Rightarrow A_{min} = \frac{27200}{240} = 113 \text{ mm}^2 \Rightarrow d_{min} = 10.4 \text{ mm}$$

Si adottano 2 tiranti $\phi 18$



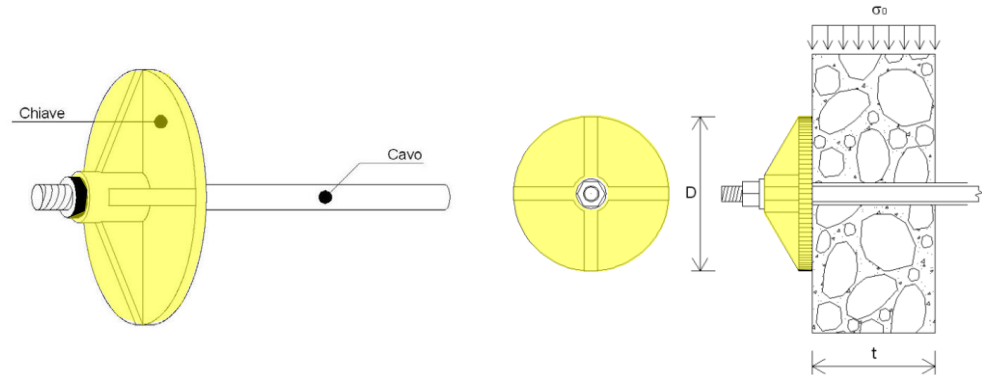
necessito inserimento di tiranti

ESEMPIO

Si dispongono tiranti $\phi 18$ con capochiave circolare di diametro 20 cm, e piattabande di spessore 10 mm.

4) Dimensionamento del tirante

$$T = 27.20kN \leq T_{Rd} = \min(T_t; T_m; T_c)$$



Va valutata la resistenza del sistema tirante + muratura (punzonamento) + capochiave

a) Resistenza tirante

$$T_t = f_{yd} \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{220 \cdot \pi \cdot 18^2}{1.05 \cdot 4 \cdot 1000} = 53.29kN$$

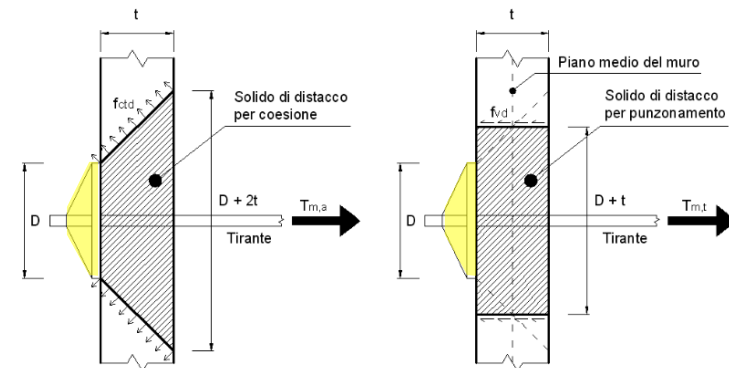
b) Resistenza muratura (punzonamento, azioni normali e tangenziali)

$$T_m = \min(T_{m,a}; T_{m,t})$$

$$T_{m,a} = \pi \cdot f_{ctd} \cdot t \cdot (t + D) = \pi \cdot (0.1 \cdot 1.86) \cdot 550 \cdot (550 + 200) = 240.91kN$$

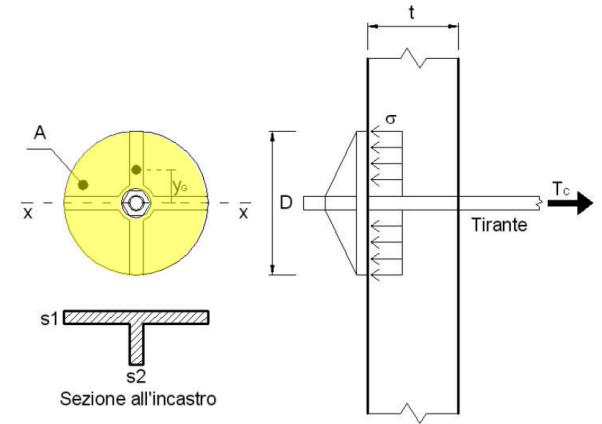
$$T_{m,t} = t \cdot (t + D) \cdot (\pi \cdot f_{vd0} + 2 \cdot \mu \cdot \sigma_0) = 550 \cdot (550 + 200) \cdot (\pi \cdot 0.12 + 0) = 155.43kN$$

$$T_m = 155.43kN$$



Assunta trascurabile

ESEMPIO



4) Dimensionamento del tirante

c) Resistenza capochiave

Si ipotizza $s_1 = s_2 = 10$ mm e altezza nervature pari a 50 mm

$$\sigma = \frac{T_c}{A} = \frac{27200}{\pi \cdot 200^2 / 4} = 0.87 \text{ MPa}$$

Calcolo con schema di mensola incastrata su asse x-x le sollecitazioni...

$$M = \frac{T_c}{2} y_G = \frac{T_c}{2} \left(\frac{2 \cdot D}{3 \cdot \pi} \right) = \frac{T_c \cdot D}{3 \cdot \pi} = 0.57 \text{ kNm} \quad \sigma(x, y) = \frac{M \cdot y_{\max}}{I} = \begin{matrix} +13 \text{ MPa} \\ -58.84 \text{ MPa} \end{matrix}$$

$$V = \frac{T_c}{2} \quad \tau(x, y) = \frac{V \cdot S}{I \cdot b} = 33.95 \text{ MPa}$$

VERIFICATO

$$y_g = 49 \text{ mm}$$

$$I = 480832 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{id}(x, y) = \sqrt{\sigma^2(x, y) + 3 \cdot \tau^2(x, y)} = 67.91 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 209.52 \text{ MPa}$$