

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

Corso di

TECNICA DELLE COSTRUZIONI

**LO STATO LIMITE ULTIMO DI TORSIONE
NELLE STRUTTURE IN C.A.**



Docente:

Prof. Ing. Angelo MASI

Collaboratori:

Ing. Giuseppe SANTARSIERO

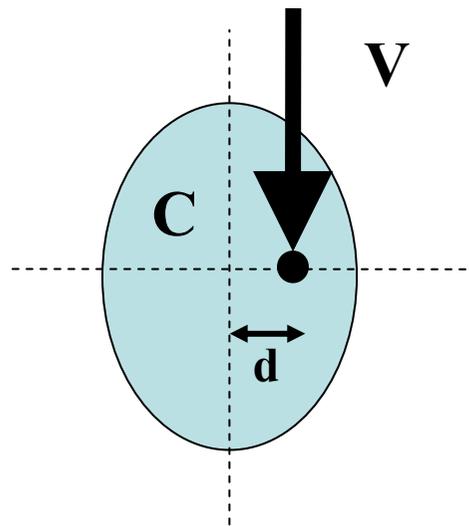
Ing. Vincenzo MANFREDI

La sollecitazione di TORSIONE

La sollecitazione di TORSIONE si presenta quando l'azione applicata NON passa per il **centro di taglio C** della sezione.

La TORSIONE è sempre accompagnata da flessione e taglio.

La TORSIONE viene usualmente trascurata, salvo poi tenerne conto per una verifica puntuale di alcuni elementi caratteristici per i quali tale sollecitazione non è trascurabile, come accade ad esempio per le travi a ginocchio, elementi strutturali necessari per sostenere le rampe del corpo scala.



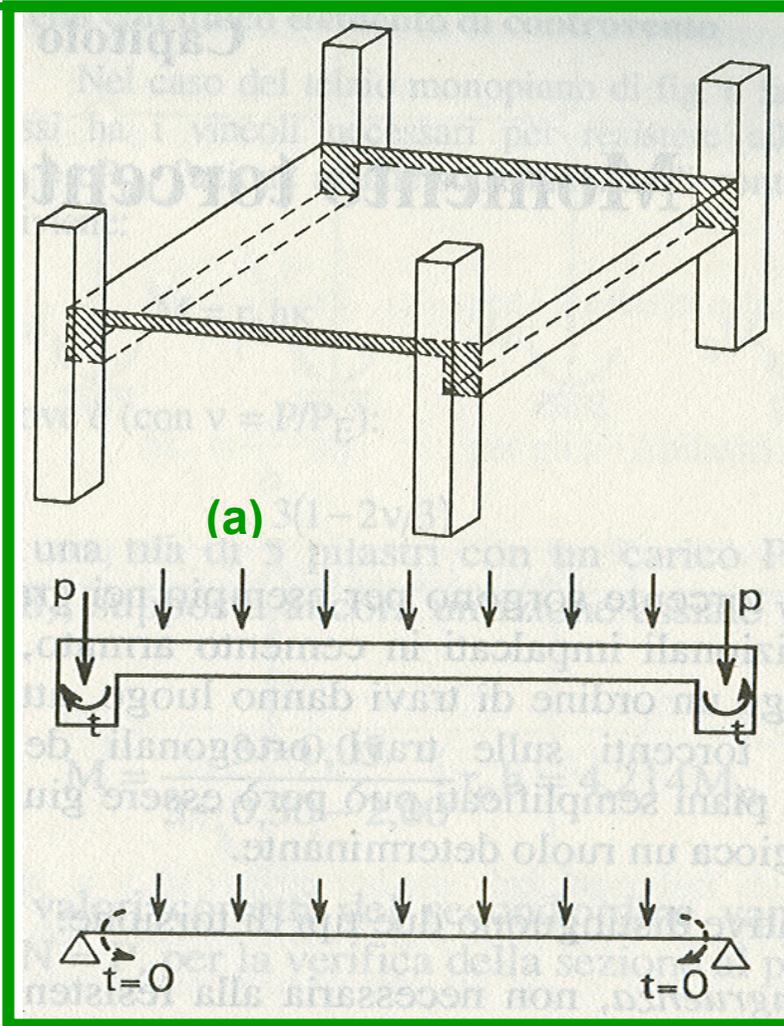
TORSIONE: primaria e secondaria

Qualora l'equilibrio statico di una struttura dipenda dalla resistenza torsionale degli elementi che la compongono sarà necessario un calcolo completo della torsione nei riguardi sia degli stati limite ultimi che di esercizio (**Torsione primaria**).

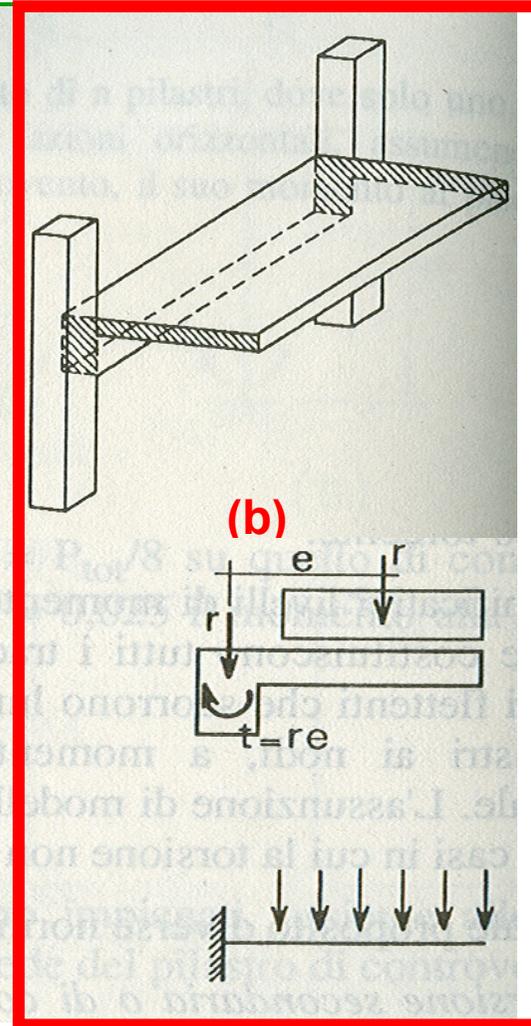
Qualora, in strutture iperstatiche, la torsione insorga solo per esigenze di compatibilità e la stabilità della struttura non dipenda dalla resistenza torsionale, non sarà generalmente necessario considerare la torsione allo stato limite ultimo (**Torsione secondaria**).

Nei casi in cui la torsione non è essenziale per la stabilità, possono comunque essere richiesti adeguati accorgimenti per limitare un'eccessiva fessurazione allo stato limite d'esercizio (valori minimi di staffe e ferri longitudinali)

TORSIONE: primaria e secondaria



**Torsione secondaria (a)
o di congruenza**



**Torsione primaria (b)
o di equilibrio**

TORSIONE: diagramma tensioni tangenziali

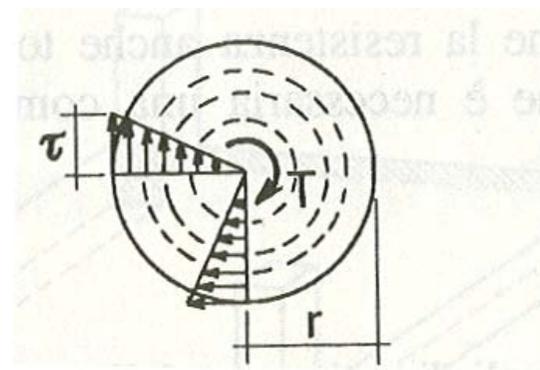
La legge di distribuzione delle tensioni tangenziali dovute alla torsione varia con la forma della sezione, per cui non si è in grado di stabilire, anche in via approssimata, una relazione che possa essere valida per qualsiasi forma.

Pertanto, si forniscono di seguito, per le sezioni di più comune impiego, le espressioni delle τ_{max} .

L'ipotesi di base è di materiale elastico, omogeneo ed isotropo

sezione circolare

A partire dalla teoria di De Saint-Venant, per azione di un momento torcente T , in una sezione circolare in fase elastica si originano tensioni tangenziali di intensità crescente verso l'esterno della sezione.



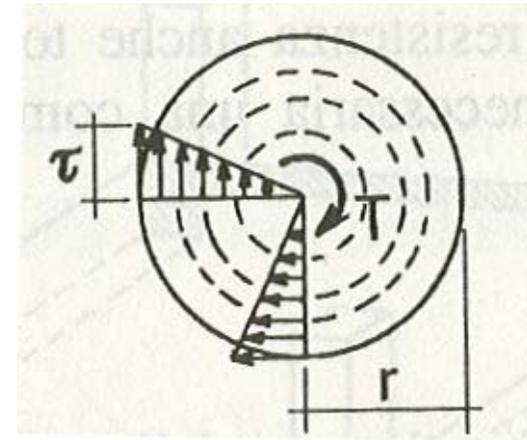
TORSIONE: sezione circolare

Definito il modulo di resistenza della sezione W_t

$$W_t = \frac{\pi \cdot r^3}{2}$$

La massima tensione prodotta all'estremo vale:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_t} = \frac{2 T}{\pi \cdot r^3}$$



Nel caso di una sezione anulare di raggi r_e e r_i , rispettivamente esterno ed interno, si ha:

$$\tau_{\max} = \frac{2 T r_e}{\pi \cdot (r_e^4 - r_i^4)}$$

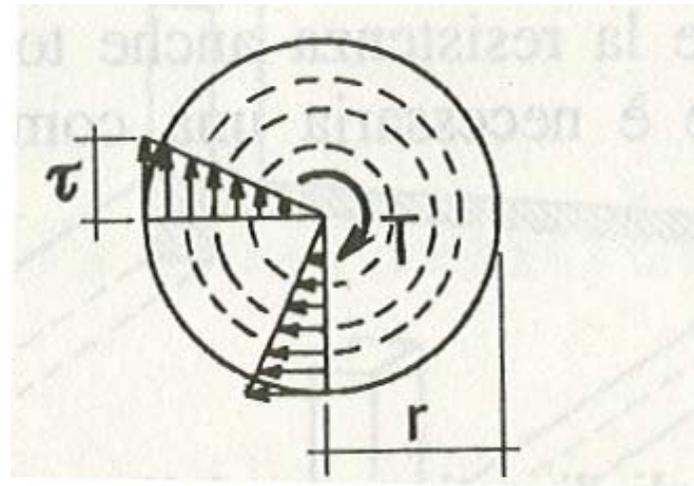
TORSIONE: sezione circolare

La rotazione delle parti terminali di un concio elementare dx rispetto all'asse baricentrico per effetto di T vale:

$$d\phi = \frac{T}{GJ} dx$$

in cui G è il modulo elastico tangenziale e J è il momento di inerzia torsionale (momento di inerzia polare) che, per la sezione circolare, vale:

$$J = \frac{\pi \cdot r^4}{2}$$



TORSIONE: sezione rettangolare

Nel caso di sezioni rettangolari, di base b ed altezza a ($b \leq a$, $\beta = b/a \leq 1$), vale sempre:

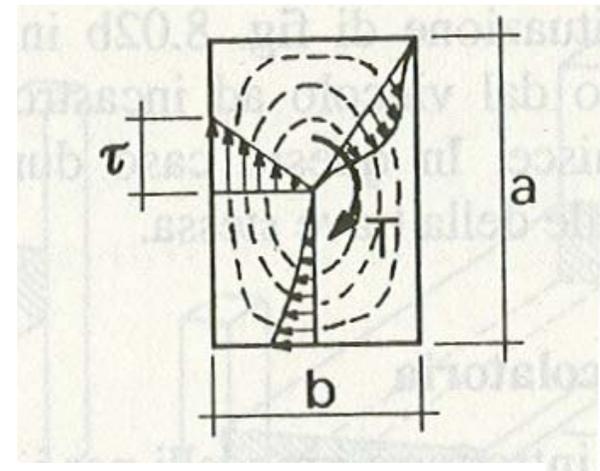
$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_t}$$

dove il modulo di resistenza della sezione

vale: $W_t = k_1 \cdot a \cdot b^2$ con $k_1 \cong \frac{1}{3 + 1.8 \cdot \beta}$

Il momento di inerzia torsionale è pari a:

$$J = k_2 \cdot a \cdot b^3$$
$$k_2 \cong \frac{1}{3 + 4.1 \cdot \sqrt{\beta^3}}$$



In presenza di sezioni costituite da n parti a spessore costante, il momento di inerzia torsionale si ottiene sommando i contributi calcolati per le singole parti.

TORSIONE: sezione anulare

Per le sezioni ad anello chiuso di piccolo spessore vale la **formula di Bredt**, per la quale, ipotizzando che la tensione si mantenga costante sullo spessore (come il flusso q lungo l'intero perimetro), si ha:

$$T = \oint (\tau \cdot t \cdot r) ds$$

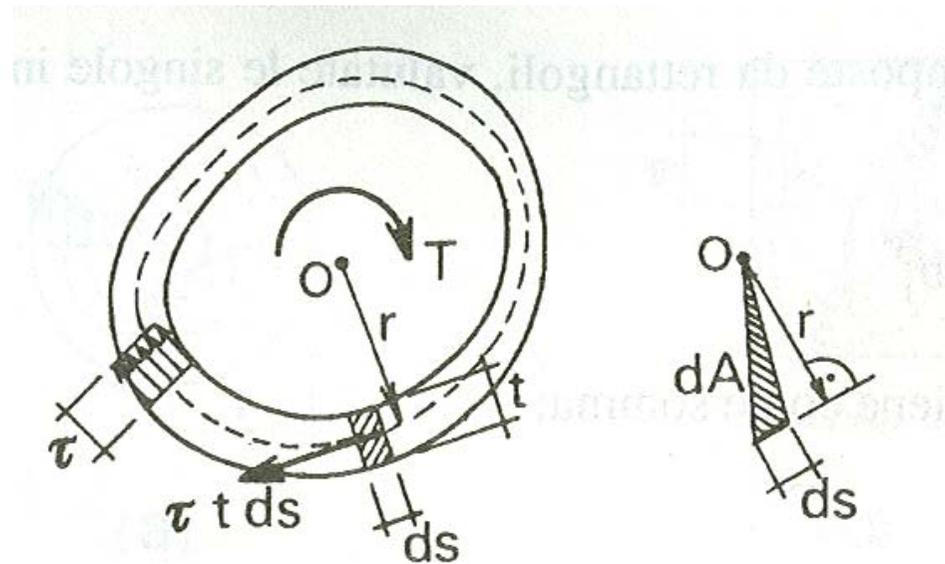
$$q = \tau \cdot t$$

$$T = \tau \cdot t \oint r ds = 2q \int_A dA = 2qA$$

Da cui si ricava:

$$q = \frac{T}{2A}$$

con A area racchiusa dalla linea media della sezione anulare.



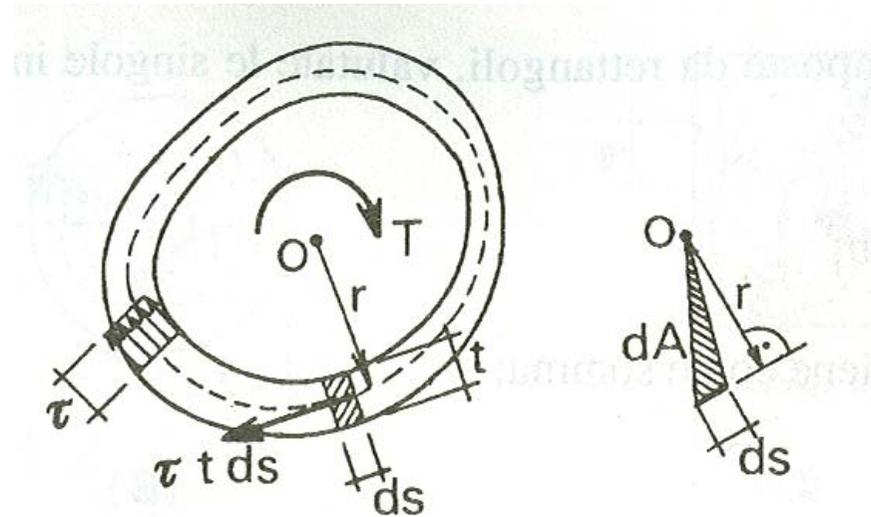
TORSIONE: sezione anulare

SEZIONE ANULARE

Il valore della tensione tangenziale max secondo la formula di Bredt è valutato attraverso:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{2 \cdot A \cdot t}$$

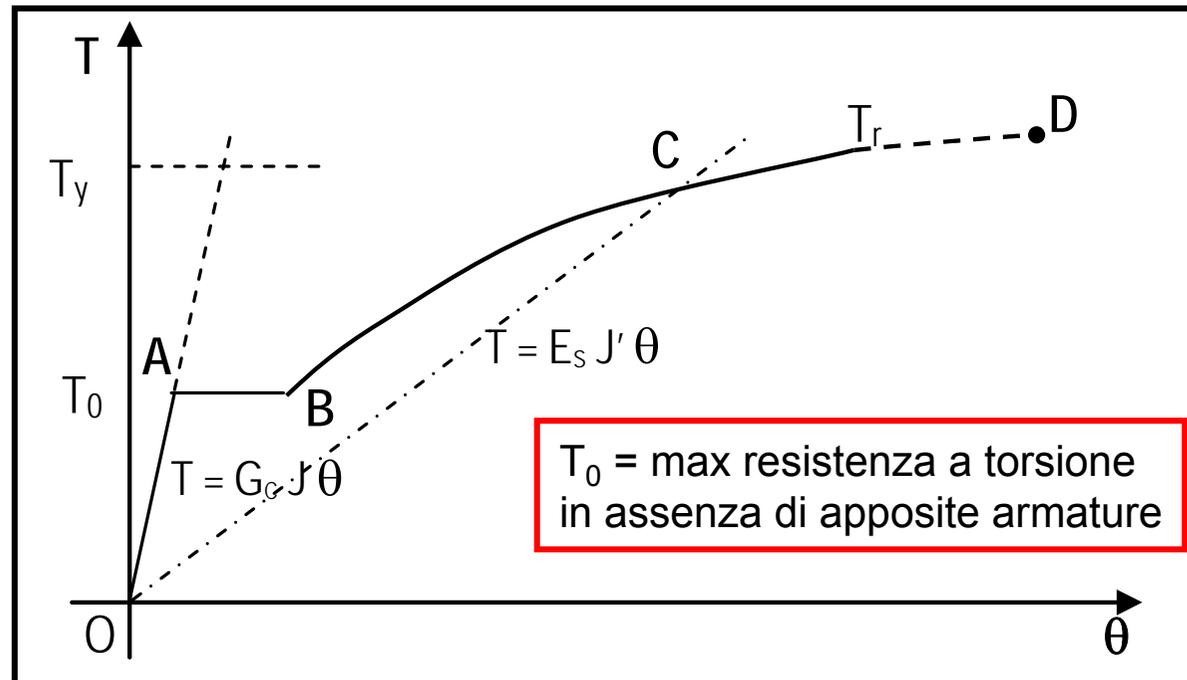
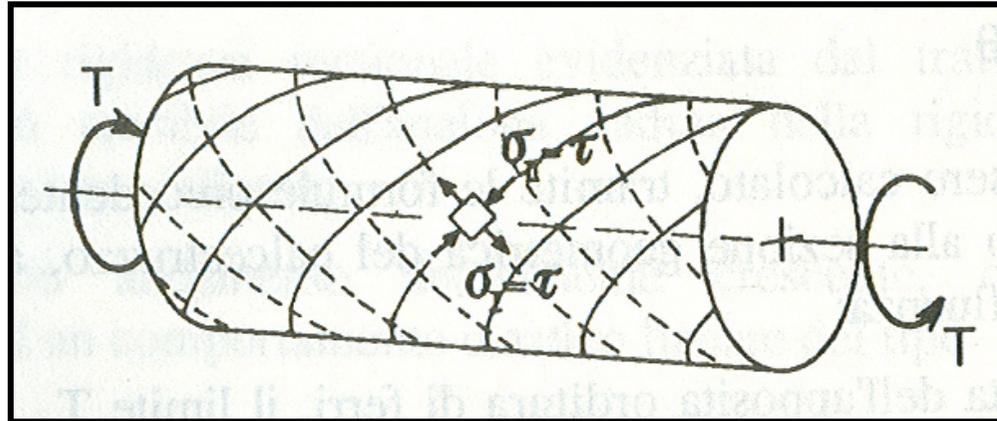
con t lo spessore della sezione anulare



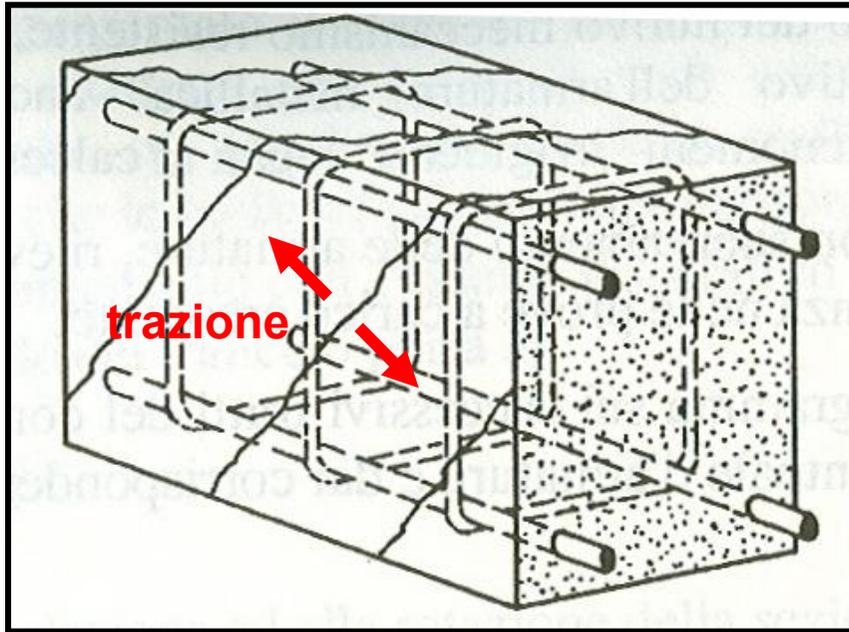
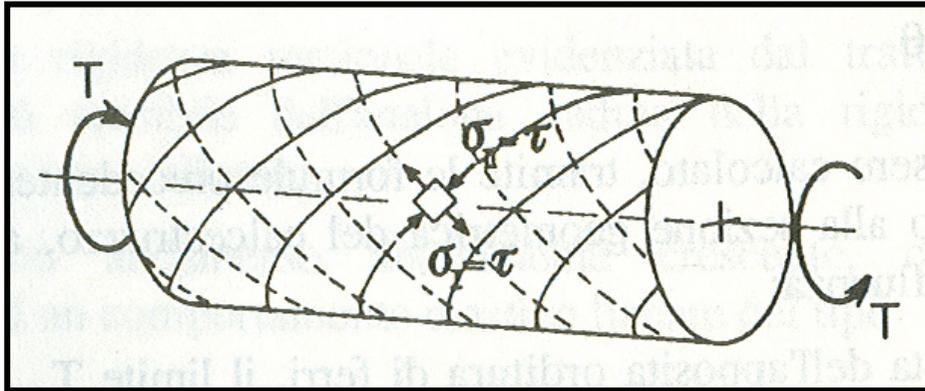
S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Le travi soggette a torsione denotano un comportamento nettamente differente nei due stadi non fessurato e fessurato.

La caratteristica principale della diversità è la forte riduzione, fino a 1/4 a 1/5, della rigidità torsionale che interviene con la fessurazione.



S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

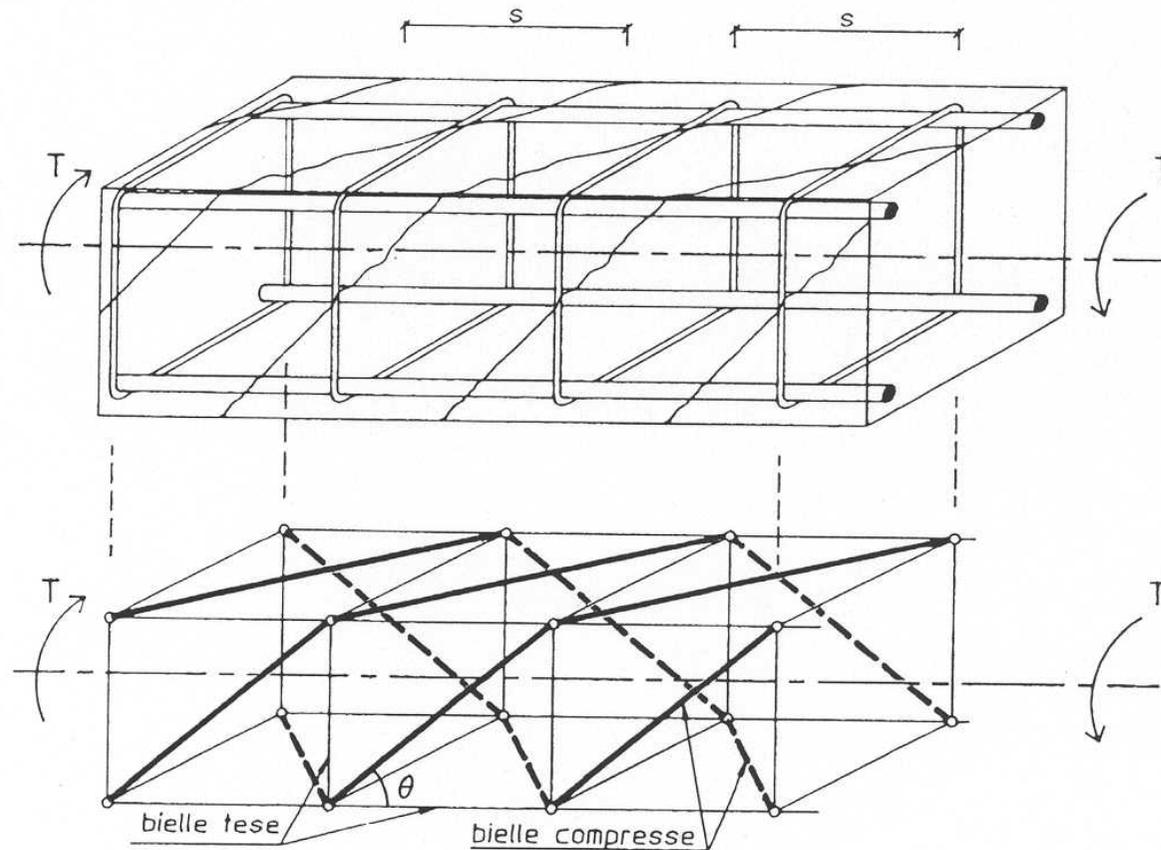


Andamento delle fessurazioni in una trave in c.a. confrontato con l'andamento delle tensioni principali di trazione

S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Traliccio spaziale costituito da:

- bielle di calcestruzzo compresso inclinate di un angolo θ
- bielle di acciaio teso rappresentate dalle armature longitudinali e dalle staffe chiuse disposte ortogonalmente alla linea d'asse



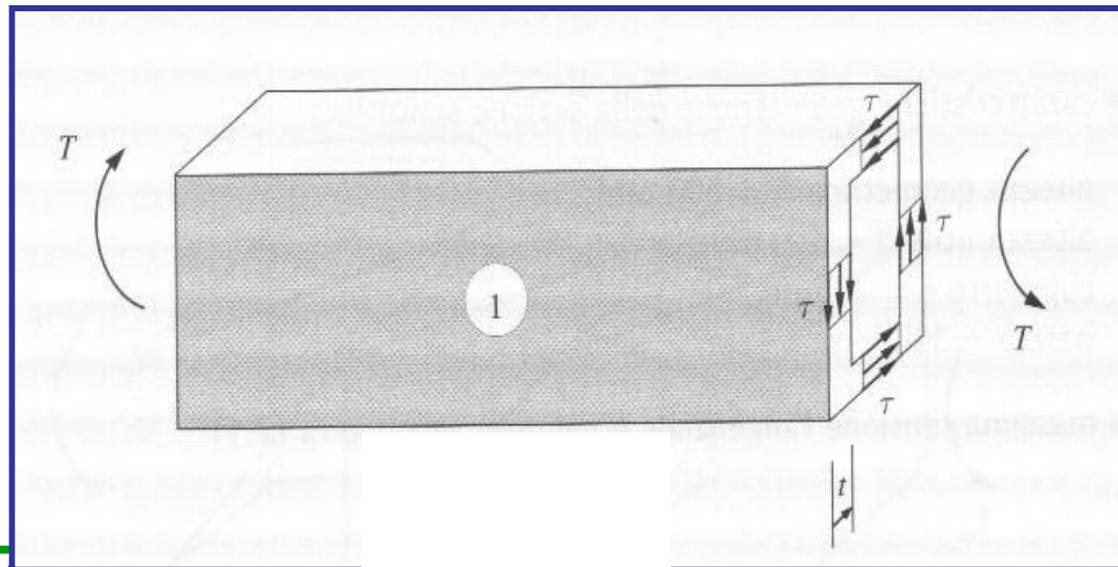
SCHEMATIZZAZIONE A TRALICCIO

S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Per la progettazione (e verifica) delle sezioni sottoposte a momento torcente si assume un modello di calcolo con sezione cava a parete sottile di spessore t .

Le tensioni tangenziali sono ipotizzate costanti all'interno dello spessore della parete.

L'angolo θ di inclinazione delle bielle di cls è considerato variabile, con valore funzione delle quantità di armatura longitudinale e trasversale
(modello a inclinazione variabile)



S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Valutazione dello sforzo nell'armatura longitudinale S_l

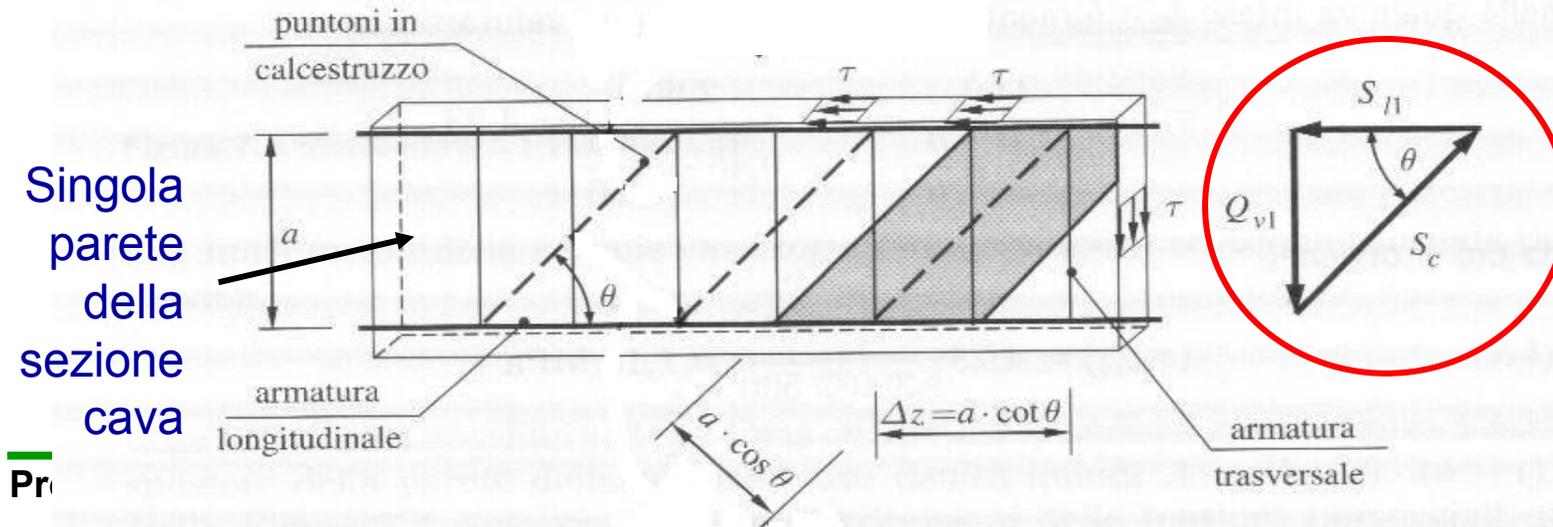
Lo sforzo di scorrimento trasversale sulla faccia verticale vale

$$Q_{vl} = \tau \cdot t \cdot a$$

Le altre componenti del poligono di forze sono:

S_{ll} trazione nelle barre longitudinali nella singola parete

S_c compressione nel puntone di cls



S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Lo sforzo di trazione nelle barre longitudinali è valutato attraverso:

$$S_{li} = Q_{v1} \cdot \cot \theta = \tau \cdot t \cdot a \cdot \cot \theta$$

Lo sforzo di trazione totale si ottiene sommando i contributi di ogni parete:

$$S_l = \sum_{i=1}^4 S_{li} = \cot \theta \cdot \sum_{i=1}^4 \tau \cdot t \cdot a_i$$

Definendo *perimetro medio* p il valore

$$p = \sum_{i=1}^4 a_i$$

e introducendo l'ipotesi di Bredt, si ha:

$$S_l = \tau \cdot t \cdot p \cdot \cot \theta = \frac{T}{2A} \cdot p \cdot \cot \theta$$

S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Uguagliando il massimo valore di trazione delle barre S_{ld} con lo sforzo S_l indotto dall'azione torcente si ottiene il valore del momento torcente T_{Rld} che produce la crisi dell'armatura longitudinale:

$$S_{ld} = f_{yd} \cdot A_{sl} = \frac{T_{Rld}}{2 \cdot A} \cdot p \cdot \cot \theta = S_l$$

$$T_{Rld} = f_{yd} \cdot A_{sl} \cdot \frac{2 \cdot A}{p} \cdot \frac{1}{\cot \theta}$$

***Momento torcente resistente
delle barre longitudinali***

S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Valutazione dello sforzo nell'armatura trasversale S_s

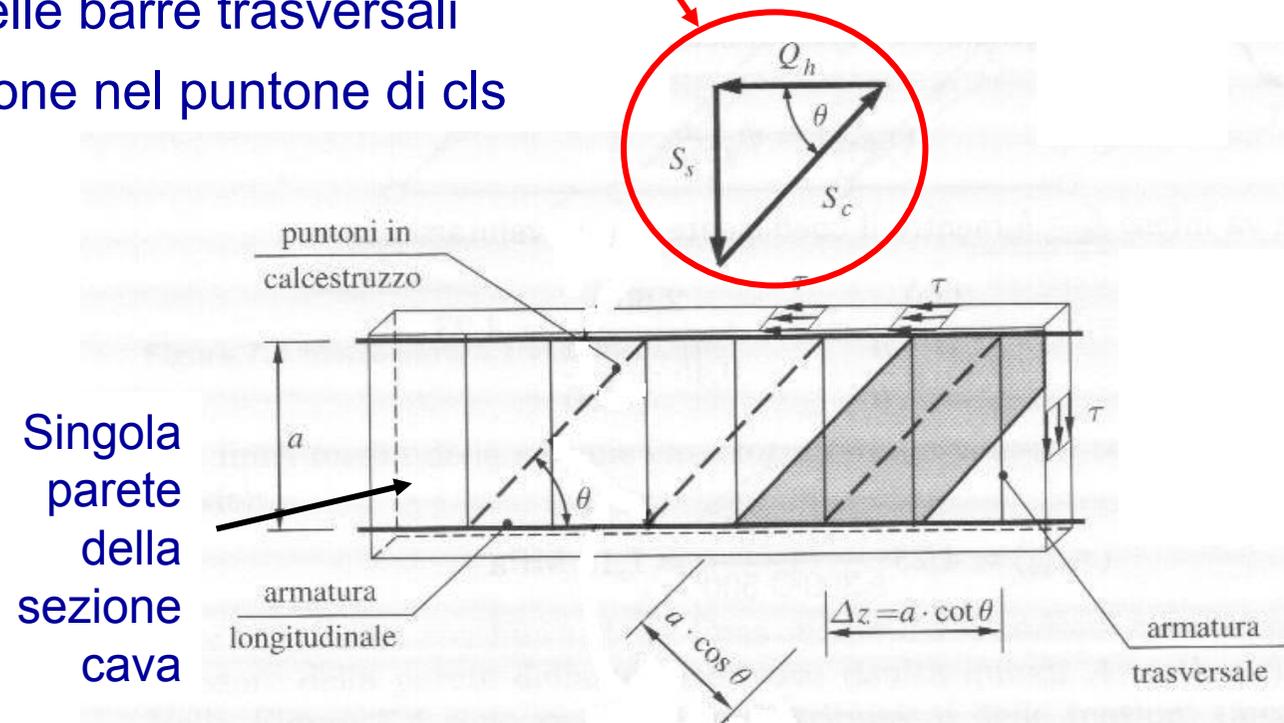
Lo sforzo di scorrimento trasversale sulla faccia orizzontale vale:

$$Q_h = \tau \cdot t \cdot \Delta z$$

Le altre componenti del poligono di forze sono:

S_s trazione nelle barre trasversali

S_c compressione nel puntone di cls



S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Lo sforzo di trazione nelle armature trasversali è valutato attraverso:

$$S_s = Q_h \cdot \operatorname{tg}\theta = \tau \cdot t \cdot \Delta z \cdot \operatorname{tg}\theta = \frac{T}{2A} \cdot \Delta z \cdot \operatorname{tg}\theta$$

Uguagliando il massimo valore di trazione delle barre S_{sd} con lo sforzo S_s indotto dall'azione torcente si ottiene il valore del momento torcente T_{Rsd} che produce la crisi dell'armatura trasversale:

$$S_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_s \cdot \Delta z}{s} = \frac{T_{Rsd}}{2 \cdot A} \cdot \Delta z \cdot \operatorname{tg}\theta \longrightarrow T_{Rsd} = f_{yd} \cdot A \cdot \frac{2 \cdot A_s}{s} \cdot \cot\theta$$

***Momento torcente resistente
delle armature trasversali***

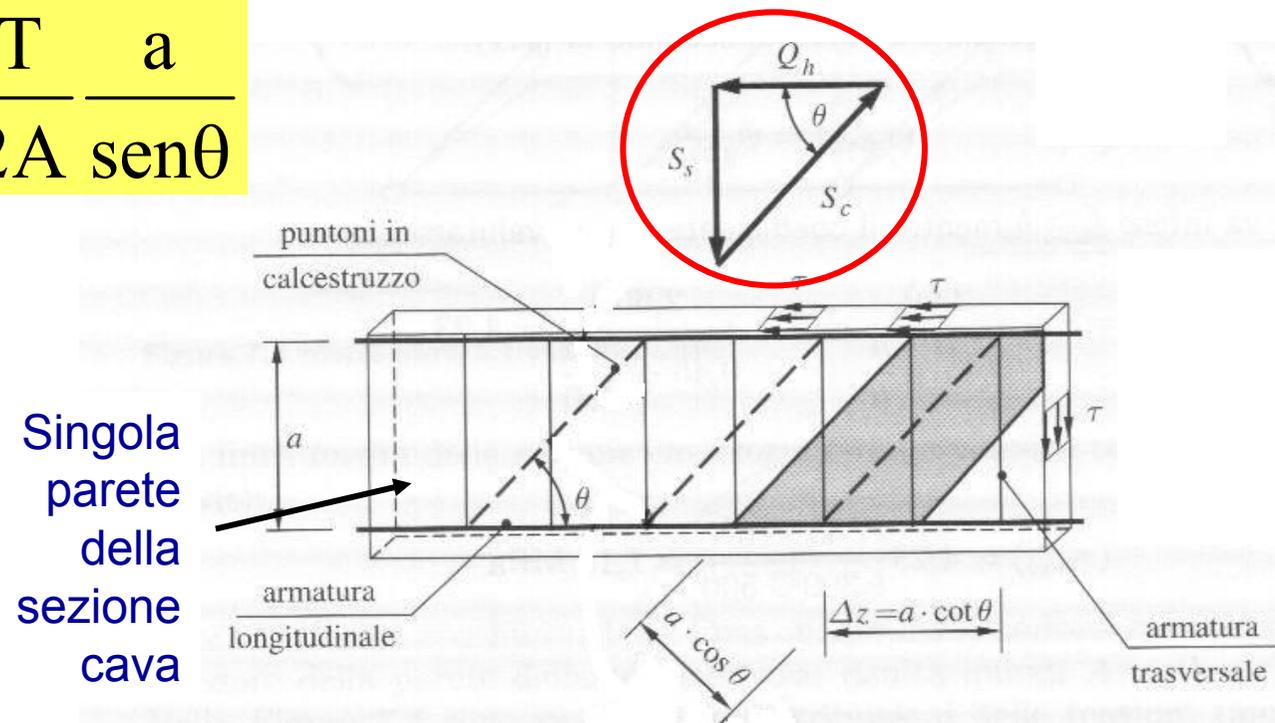
S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Valutazione dello sforzo di compressione delle bielle di cls S_c

La componente di compressione S_c del poligono di forze è pari a:

$$S_c = \frac{Q_h}{\cos \theta} = \frac{\tau \cdot t \cdot \Delta z}{\cos \theta} = \frac{\tau \cdot t \cdot a \cdot \cot \theta}{\cos \theta} =$$

$$= \frac{\tau \cdot t \cdot a}{\sin \theta} = \frac{T}{2A} \frac{a}{\sin \theta}$$

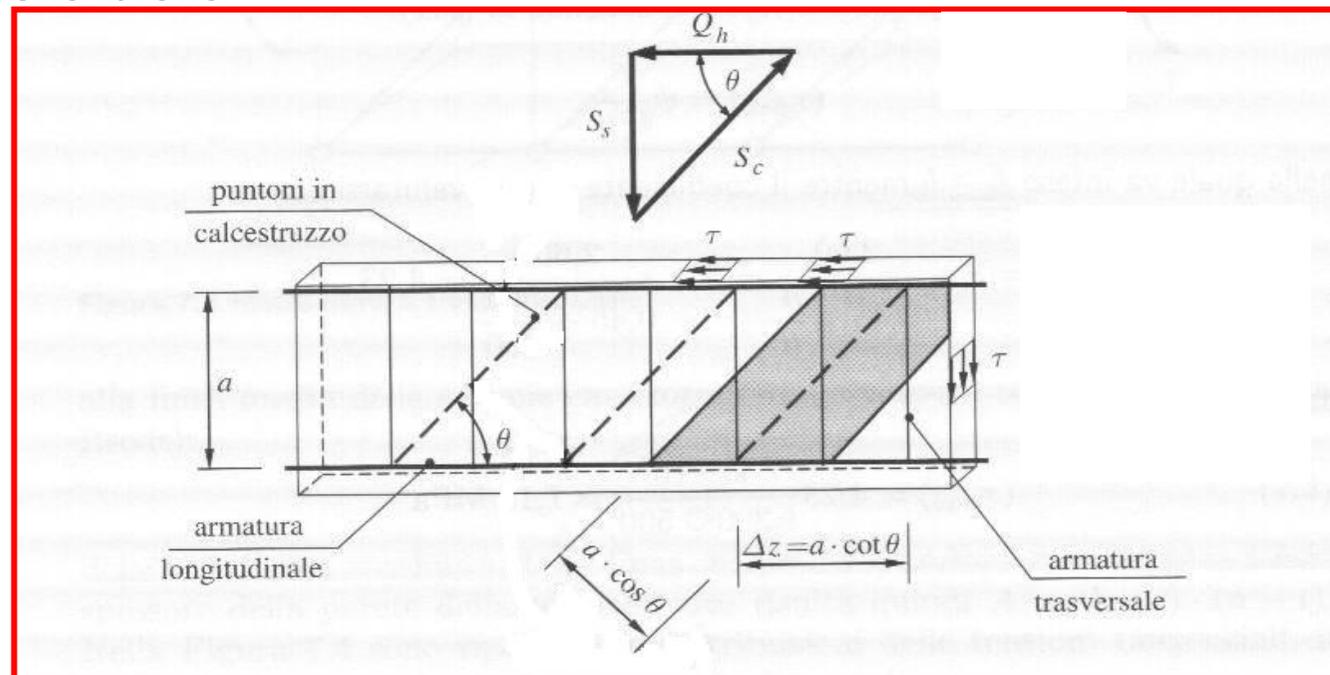


S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

La massima capacità del puntone compresso è valutabile attraverso:

$$S_{cd} = \alpha_c v \cdot \sigma_{cd} \cdot t \cdot a \cdot \cos \theta$$

dove α_c tiene conto degli effetti dovuti alla presenza di un eventuale sforzo assiale e v della reale distribuzione delle tensioni nella sezione della biella



S.L.U. TORSIONE (Traliccio spaziale resistente)

Uguagliando il massimo valore di compressione delle bielle di cls S_{cd} con lo sforzo indotto dall'azione torcente S_c si ottiene il valore del momento torcente T_{Rcd} che produce la crisi della biella compressa:

$$S_{cd} = \alpha_c v \cdot \sigma_{cd} \cdot t \cdot a \cdot \cos \theta = \frac{T}{2A} \frac{a}{\sin \theta}$$

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \alpha_c v \cdot \sigma_{cd} \cdot t \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta = 2 \cdot A \cdot \alpha_c v \cdot \sigma_{cd} \cdot t \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

Momento torcente resistente delle bielle compresse

La massima resistenza si ottiene per una inclinazione $\theta = 45^\circ$.

S.L.U. TORSIONE (NTC2008)

La verifica dello SLU per sollecitazioni di torsione è soddisfatta se:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

dove T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente agente e T_{Rd} è il momento torcente resistente pari al minimo tra il valore della resistenza delle bielle di cls compresse (T_{Rcd}), delle barre longitudinali (T_{Rld}), e delle armature trasversali (T_{Rsd}):

$$T_{Rd} = \min (T_{Rcd}, T_{Rld}, T_{Rsd})$$

La verifica è riferita a sezioni prismatiche cave o piene il cui schema resistente è riconducibile a un traliccio periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

S.L.U. TORSIONE (NTC2008)

Momento torcente resistente delle **bielle di calcestruzzo** (T_{Rcd})

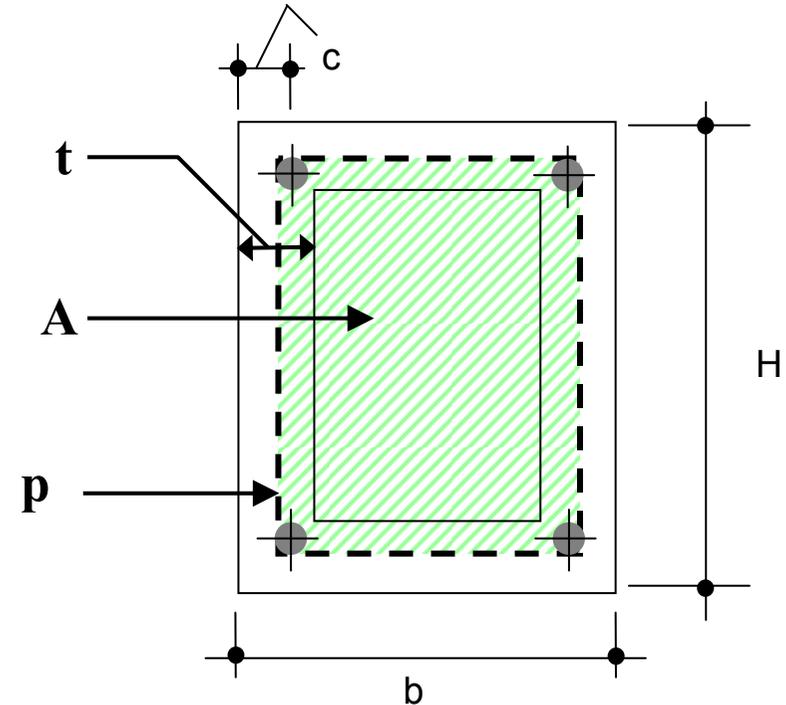
La resistenza delle bielle si calcola attraverso la seguente espressione:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \cot \theta / (1 + \cot^2 \theta)$$

$t = A_c / u \geq 2c$ è lo spessore della sezione cava;
 $A_c = b \times H$ è l'area della sezione;
 p è il perimetro medio della sezione;
 A area racchiusa entro la fibra media del perimetro della sezione;

f'_{cd} f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0,5 \times f_{cd}$),

θ angolo di inclinazione delle bielle di cls con limitazione $0.4 \leq \cot \theta \leq 2.5$



NOTA: la tensione del cls è ridotta perché le bielle sono presso-inflesse

S.L.U. TORSIONE (NTC2008)

*Momento torcente resistente delle **armature trasversali e longitudinali** (T_{Rsd} , T_{Rld})*

La resistenza delle armature trasversali si calcola attraverso la seguente espressione:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta$$

La resistenza delle armature longitudinali si calcola attraverso la seguente espressione:

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_{sl}}{p} \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\cot \theta}$$

$t = A_c/u$ è lo spessore della sezione cava, A_c è l'area e u il perimetro;

A_s è l'area della staffa;

p è il perimetro medio del nucleo resistente,

s passo delle staffe;

A_{sl} area complessiva delle barre longitudinali;

A area racchiusa nel perimetro medio della sezione cava

θ angolo di inclinazione delle bielle di cls con la limitazione $0.4 \leq \cot \theta \leq 2.5$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

COMPORTAMENTO A ROTTURA DELLE SEZIONI

Nelle sezioni in c.a. sottoposte a torsione sono possibili 3 diverse condizioni di verifica:

- **Snervamento simultaneo delle armature (staffe + barre longitudinali)**
- **Rottura delle bielle di cls e contemporaneo snervamento delle staffe**
- **Rottura delle bielle di cls e contemporaneo snervamento delle barre longitudinali**

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

CASO1: ROTTURA SIMULTANEA DELLE ARMATURE (STAFFE + BARRE)

Il valore $\cot\theta$ è determinato imponendo l'uguaglianza tra T_{Rsd} e T_{Rld}

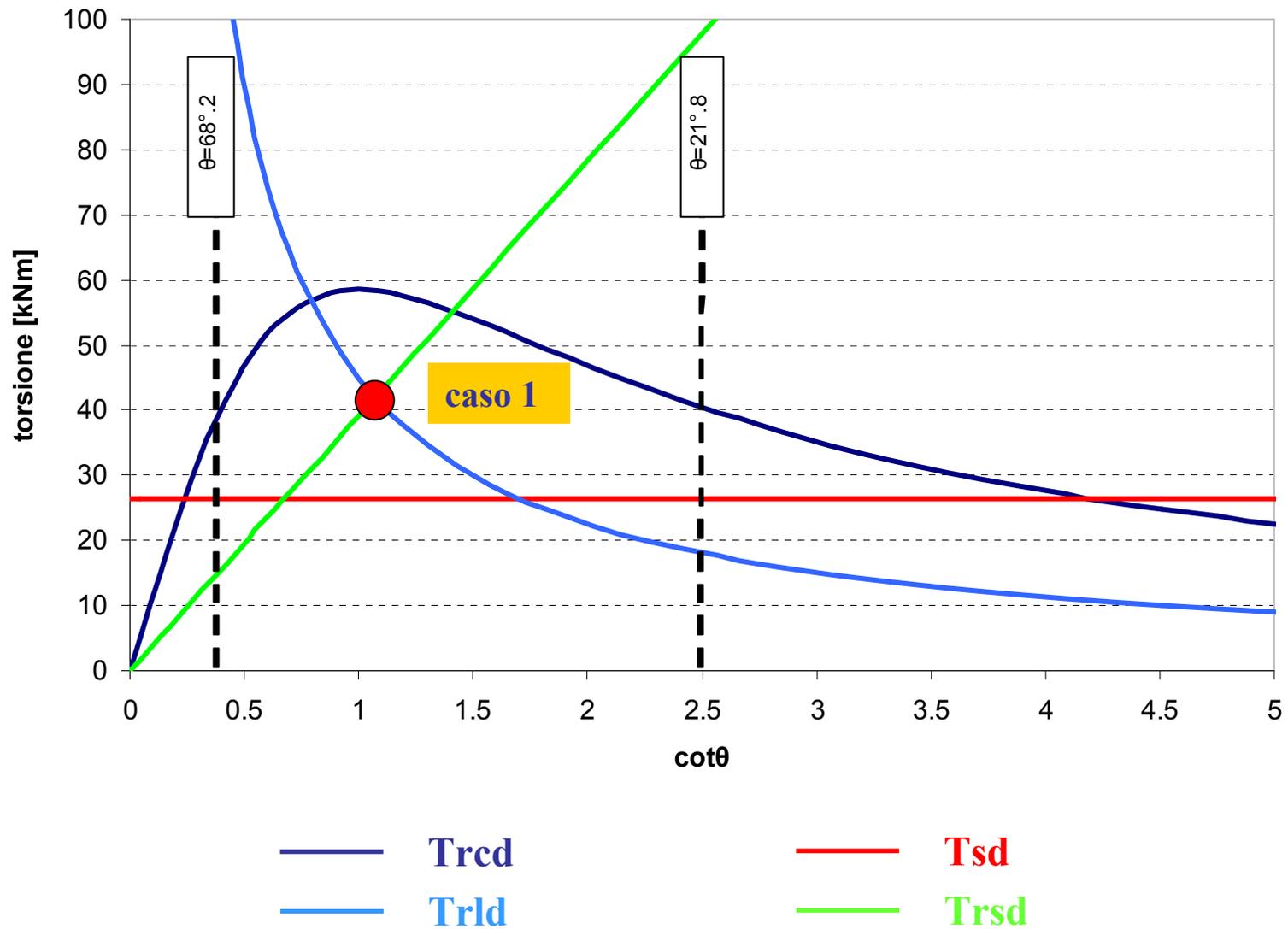
$$T_{Rld} = T_{Rsd} \Rightarrow \cot\theta = (a_l / a_s)^{1/2} \quad \text{dove} \quad a_l = \sum A_l / p \quad \text{e} \quad a_s = A_s / s$$

Se risulta che $0.4 \leq \cot\theta \leq 2.5$ e $T_{Rcd}(\cot\theta) \geq T_{Rld} = T_{Rsd}$

allora la torsione resistente (T_{Rd}) è uguale alla torsione resistente delle staffe ovvero delle barre longitudinali ($T_{Rld} = T_{Rsd}$) (**caso1**)

$$T_{Rd} = T_{Rld} = T_{Rsd}$$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

Se T_{Rcd} calcolato in corrispondenza del valore $\cot\theta$ è minore di T_{Rsd} (ovvero T_{Rld}) allora la crisi avviene per:

CASO 2: ROTTURA DELLE BIELLE DI CLS E SNERVAMENTO DELLE STAFFE

oppure

CASO 3: ROTTURA DELLE BIELLE DI CLS E SNERVAMENTO DELLE BARRE LONGITUDINALI

Bisogna, quindi, determinare il valore della $\cot\theta$ per i due casi di rottura 2 e 3 ($\cot\theta_s$; $\cot\theta_l$).

La torsione resistente T_{Rd} è data dal valore più grande assunto in corrispondenza dei due valori di $\cot\theta$ secondo la seguente espressione:

$$T_{Rd} = \max\{T_{Rcd}(\cot\theta_s); T_{Rcd}(\cot\theta_l)\}$$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

CASO 2: ROTTURA DELLE BIELLE DI CLS E SNERVAMENTO DELLE STAFFE

Il valore $\cot\theta_s$ è determinato imponendo l'uguaglianza tra T_{Rsd} e T_{Rcd}

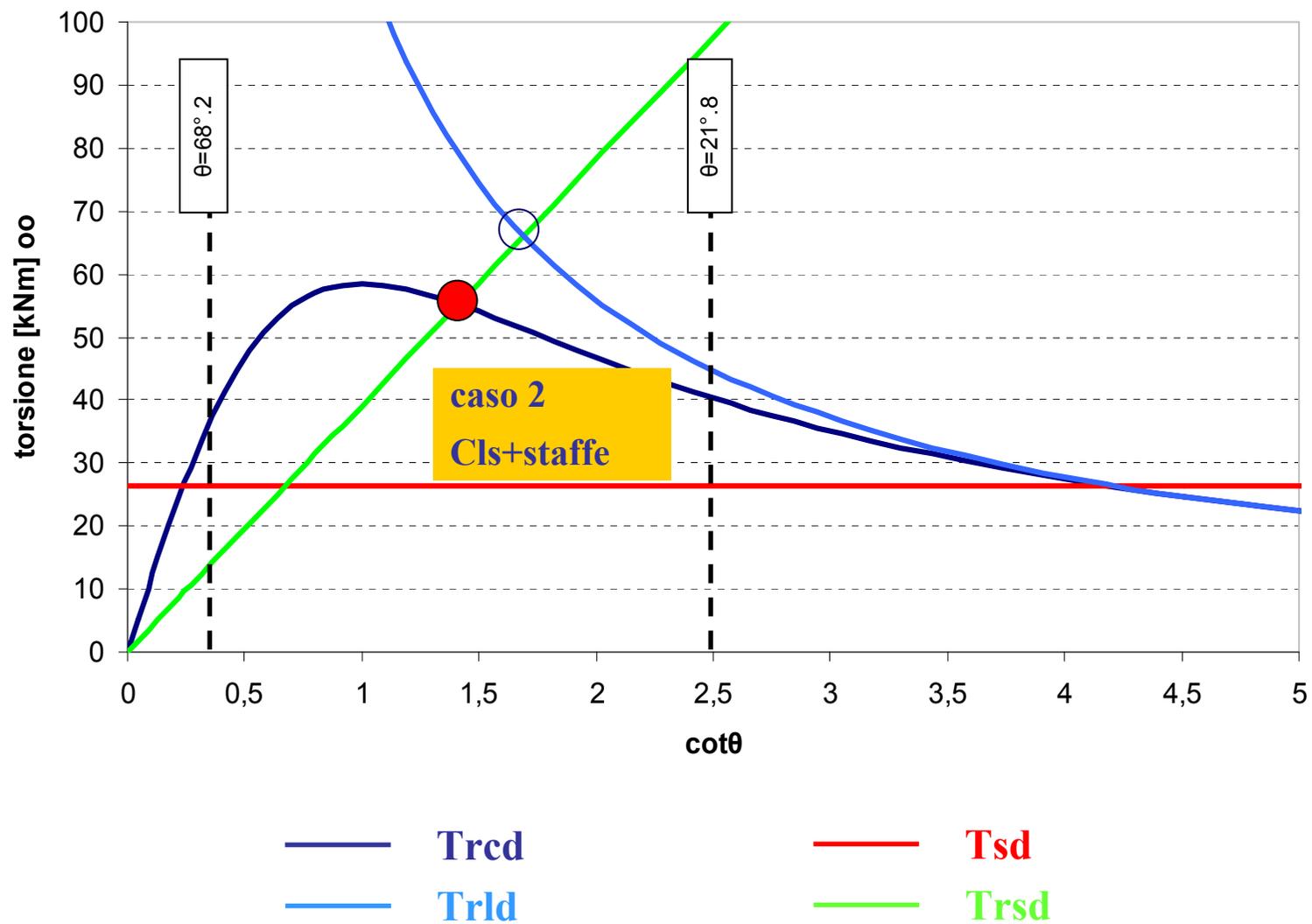
$$T_{Rcd} = T_{Rsd} \Rightarrow \cot\theta_s = \sqrt{\frac{t \cdot f'_{cd} \cdot s}{A_s \cdot f_{yd}} - 1}$$

CASO 3: ROTTURA DELLE BIELLE DI CLS E SNERVAMENTO DELLE BARRE LONGITUDINALI

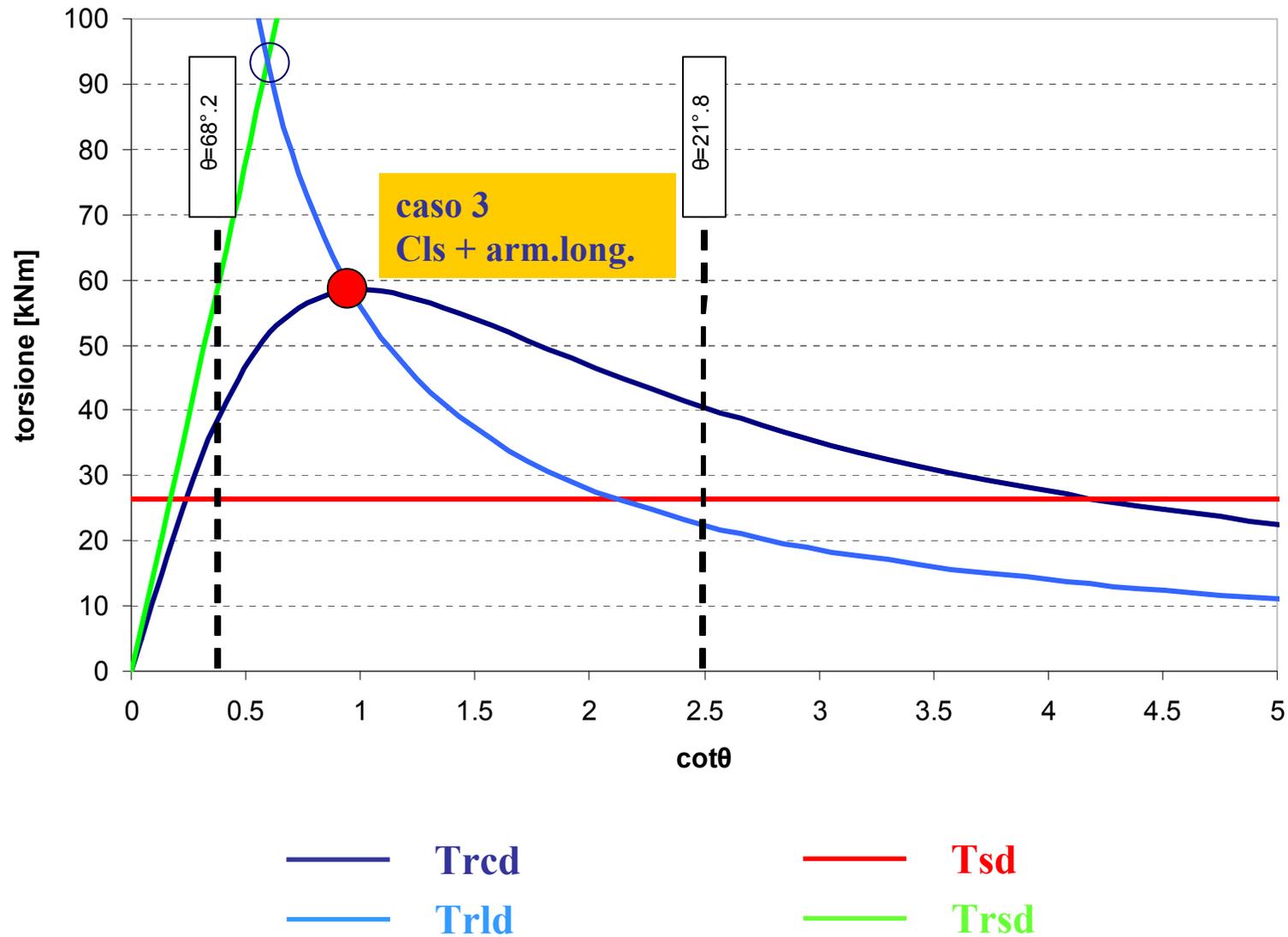
Il valore $\cot\theta_l$ è determinato imponendo l'uguaglianza tra T_{Rld} e T_{Rcd}

$$T_{Rcd} = T_{Rld} \Rightarrow \cot\theta_l = \sqrt{\frac{\frac{\sum A_l \cdot f_{yd}}{u_m}}{t \cdot f'_{cd} - \frac{\sum A_l \cdot f_{yd}}{u_m}}}$$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

In considerazione del limite di norma sul valore di $\cot\theta$ si possono avere dei *sotto-casi* di verifica.

Se risulta $\cot\theta = (a_1 / a_s)^{1/2} > 2.5$ allora nella sezione si attinge la crisi simultanea delle bielle di cls e delle armature trasversali (CASO 2.1)

Il valore di $\cot\theta$ è determinato ponendo:

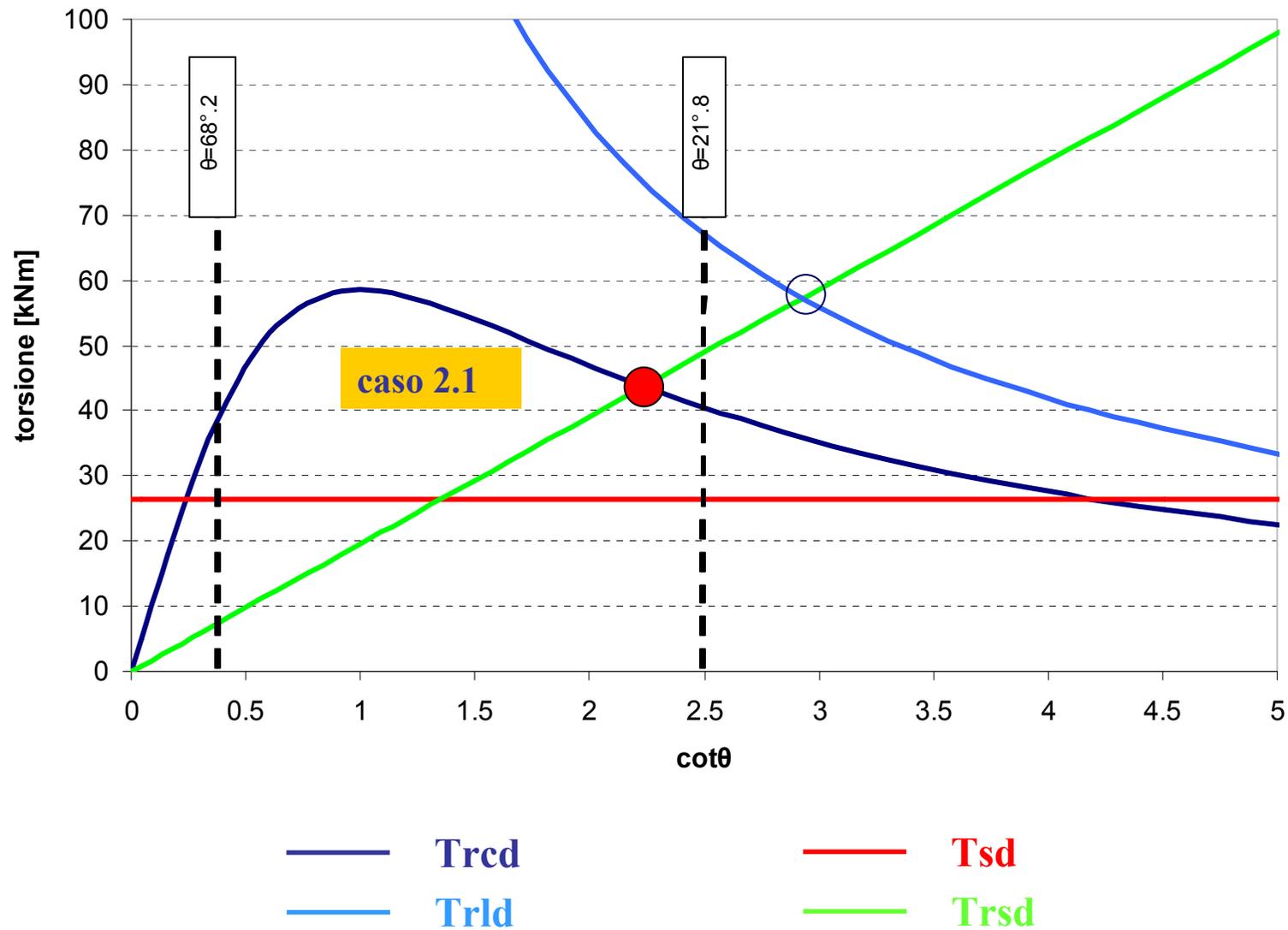
$$T_{Rcd} = T_{Rsd} \Rightarrow \cot\theta_s = \sqrt{\frac{t \cdot f'_{cd} \cdot s}{A_s \cdot f_{yd}} - 1}$$

Il valore del momento torcente resistente è dato da:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \cot\theta_s / (1 + \cot^2\theta_s) \quad \text{ovvero da:}$$

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta_s$$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

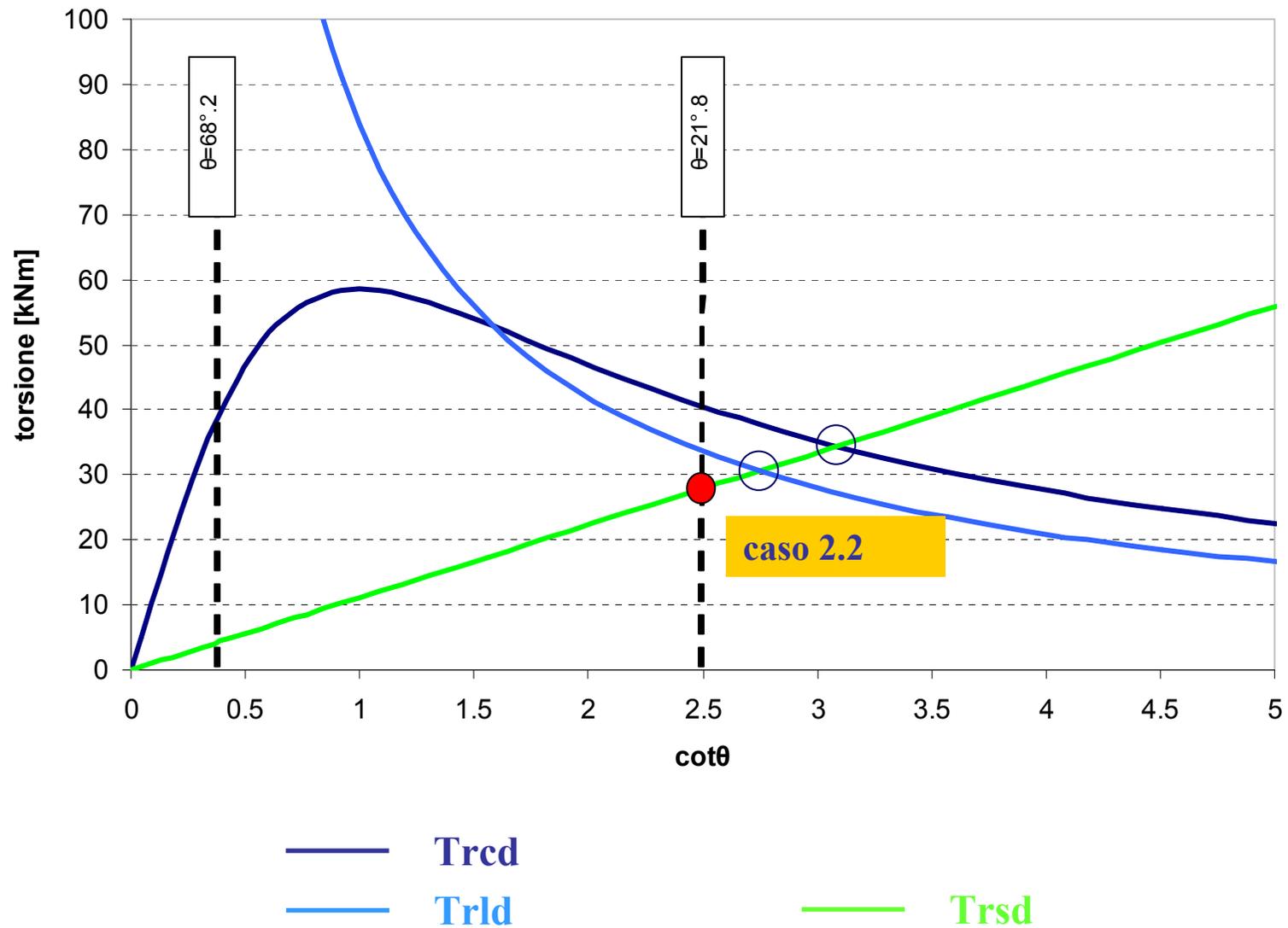
CASO 2.2

Se risulta $\cot\theta_s > 2.5$ allora il momento torcente resistente è dato da:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta_s$$

dove $\cot\theta_s = 2.5$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

Se risulta $\cot \theta = (a_1 / a_s)^{1/2} < 0.4$ allora nella sezione si attinge la crisi simultanea delle bielle di cls e delle armature longitudinale (CASO 3.1)

Il valore di $\cot \theta$ è determinato ponendo:

$$T_{Rcd} = T_{Rld} \Rightarrow \cot \theta_1 = \sqrt{\frac{\frac{\sum A_1 \cdot f_{yd}}{u_m}}{t \cdot f'_{cd} - \frac{\sum A_1 \cdot f_{yd}}{u_m}}}$$

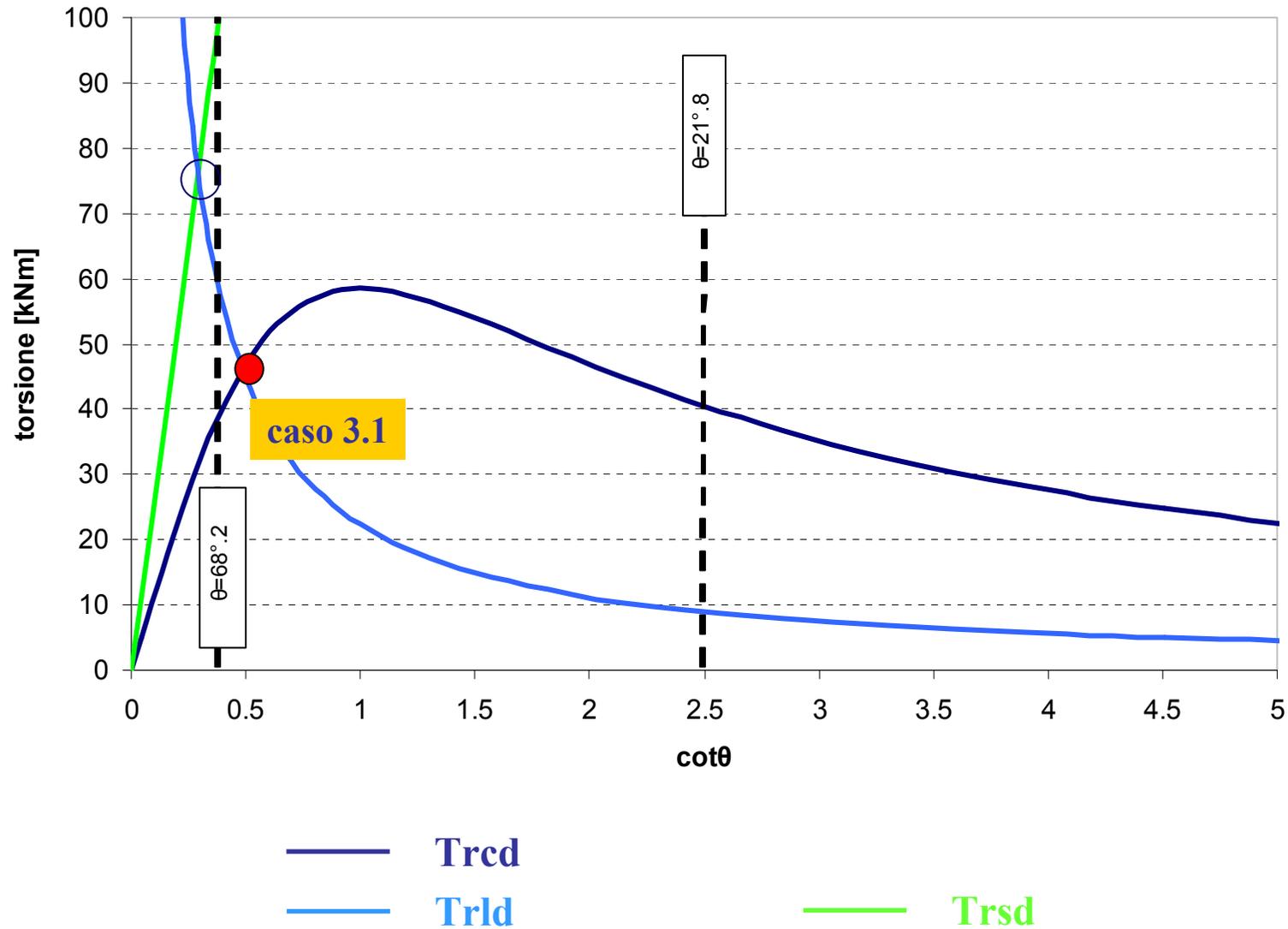
Il valore del momento torcente resistente è dato da:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \cot \theta_1 / (1 + \cot^2 \theta_1)$$

ovvero da:

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_1}{u_m} \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\cot \theta_1}$$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

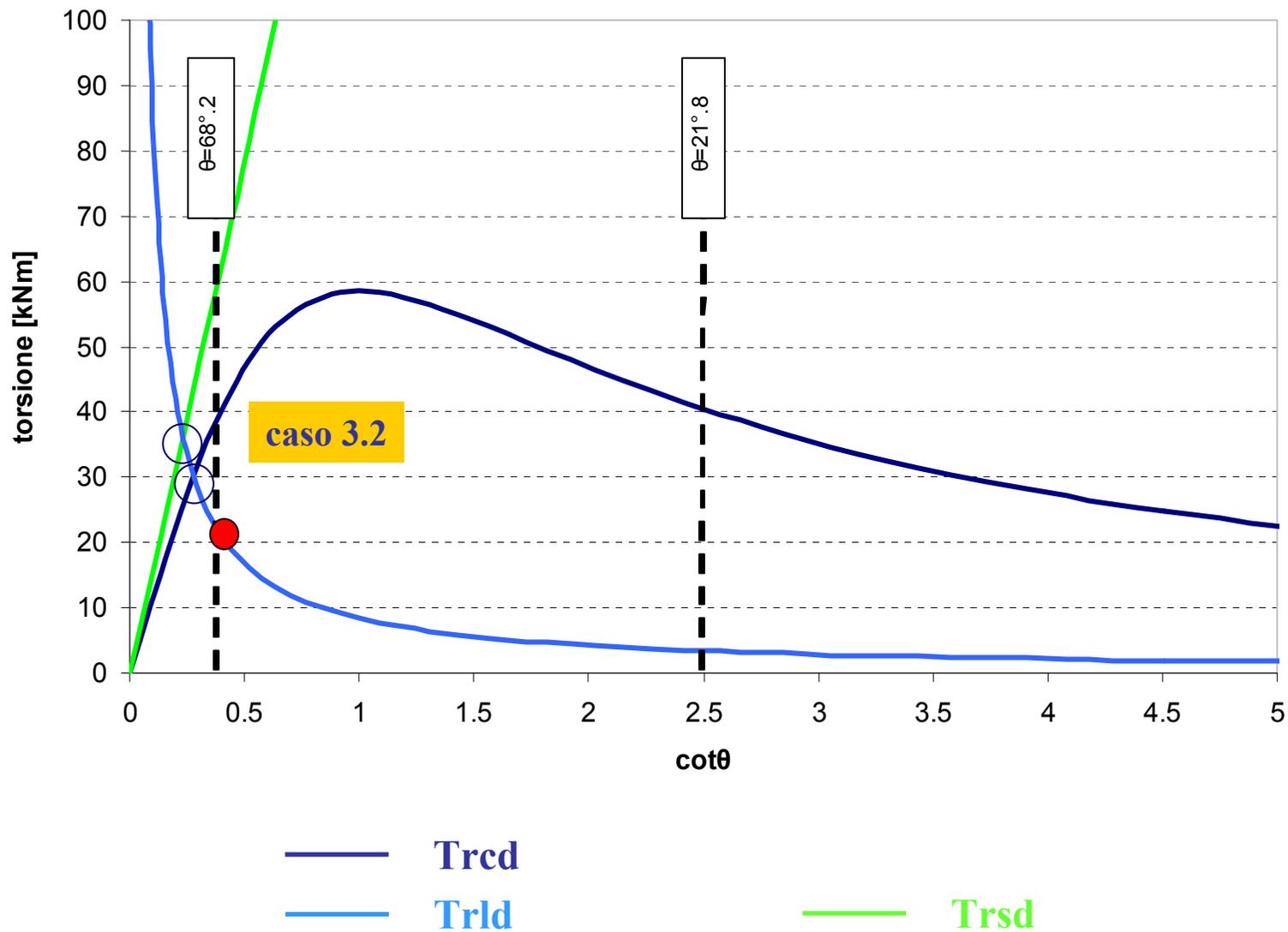
CASO 3.2

Se risulta $\cot\theta_1 < 0.4$ allora il momento torcente resistente è dato da:

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_1}{u_m} \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\cot\theta_1}$$

dove $\cot\theta_1 = 0.4$

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE

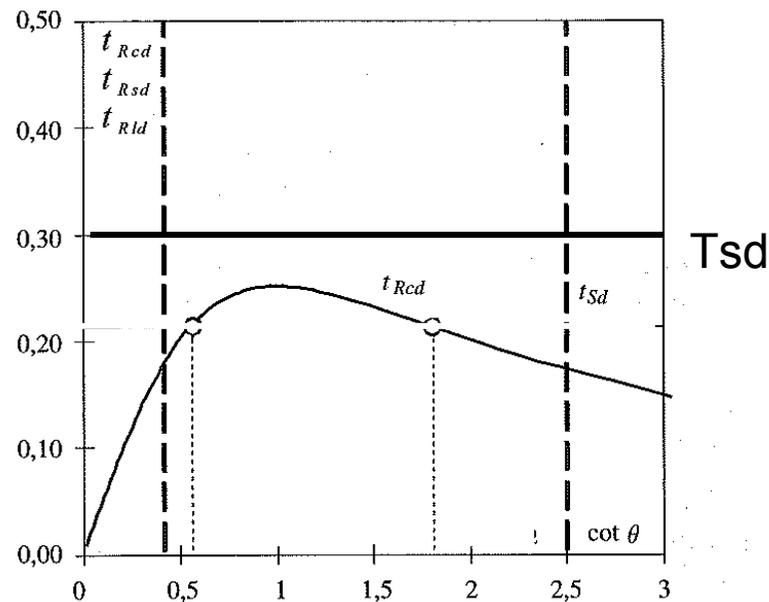


Il Progetto delle armature

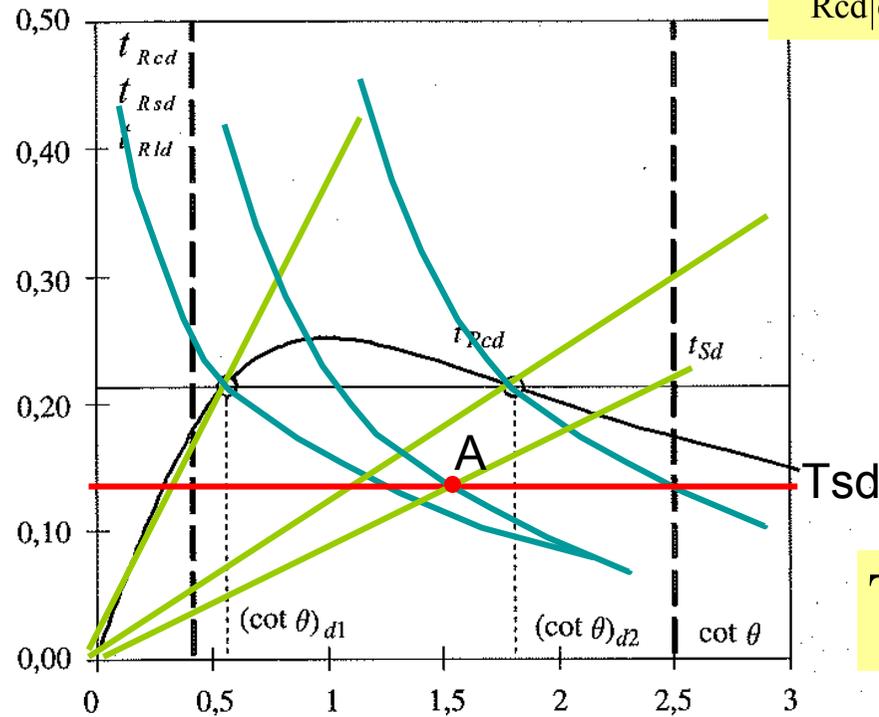
Per la progettazione delle armature si procedere secondo il seguente schema:

$$T_{Rcd}(\cot\theta=1) < T_{Sd}$$

Si deve ri-progettare la sezione geometrica o utilizzare un cls di resistenza maggiore.
Caso 1



Il Progetto delle armature



$$T_{Rcd|cot\theta=1.0} \geq T_{Sd} \geq \min \left\{ T_{Rcd|cot\theta=0.4}; T_{Rcd|cot\theta=2.5} \right\}$$

- 1) Impongo $T_{sd} = T_{Rcd}$ e trovo due radici $(cot\theta)_{d1}$ e $(cot\theta)_{d2}$
- 2) Trovo A_s ed A_l tali che $T_{Rsd} = T_{Rld} = T_{Rcd}$ nei due valori di $cot\theta$

Se invece si ha:

$$T_{Sd} < \min \left\{ T_{Rcd|cot\theta=0.4}; T_{Rcd|cot\theta=2.5} \right\}$$

Il progetto dell'armatura a torsione viene eseguito imponendo l'uguaglianza tra la resistenza delle armature (staffe T_{Rsd} e barre longitudinali T_{Rld}) con il valore della torsione agente (es. punto A):

$$T_{Sd} = f_{yd} \cdot 2A \cdot \sqrt{\frac{A_{sl} \cdot A_s}{p \cdot s}} \text{ sono possibili infinite combinazioni } A_{sl} - A_l$$

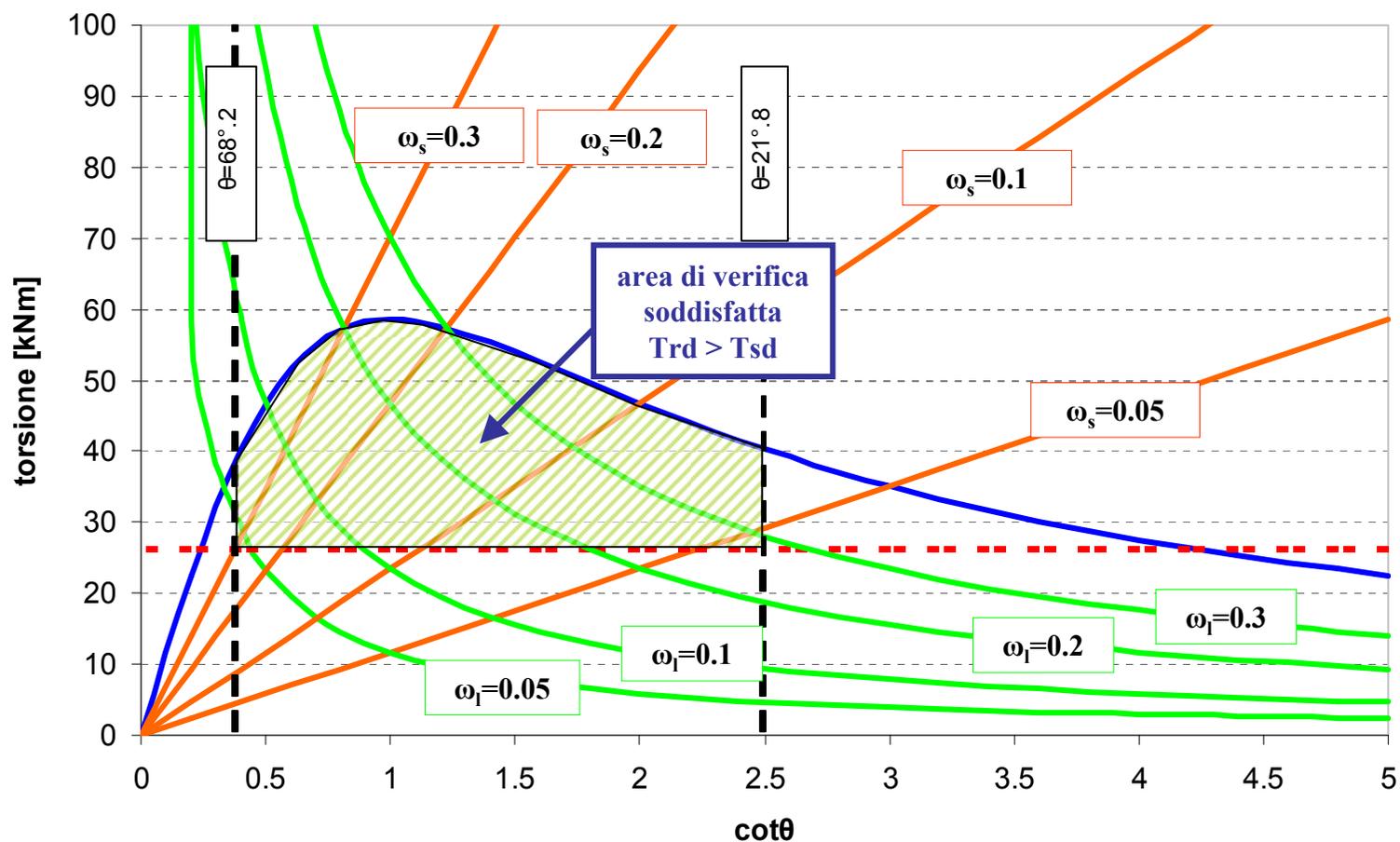
Metodo di Progetto/verifica grafico delle armature

Per il progetto/verifica dell'armatura resistente a torsione può essere realizzato un diagramma riportante la funzione della **torsione resistente del cls** (T_{Rcd}) e le funzioni della **torsione resistente delle barre longitudinali** (T_{Rld}) e **trasversali** (T_{Rsd}) per diversi valori del rapporto di armatura (ω_{sw} ; ω_s) al variare del valore di **$\cot\theta$** .

Le soluzioni possibili sono tutti i punti di intersezione tra le funzioni T_{Rld} e T_{Rsd} che ricadono entro i valori **$\cot\theta = 0.4$** e **$\cot\theta = 2.5$** e delimitati dai punti della funzione **T_{Rcd}** e del valore della torsione agente **T_{Sd}**

ATTENZIONE: Se il valore della torsione agente T_{Sd} risulta essere maggiore del valore massimo della torsione resistente del cls T_{Rcd} (valutato per $\cot\theta = 1$) bisogna necessariamente definire una nuova geometria della sezione di cls ovvero utilizzare un cls di resistenza maggiore

VERIFICA SLU PER SOLLECITAZIONI DI TORSIONE



$$\omega_s = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{s \cdot t \cdot f_{cd}}$$

$$\omega_l = \frac{A_l \cdot f_{yd}}{u_m \cdot t \cdot f_{cd}}$$

— Trcd
— Trsd

- - - Tsd
— Trld

S.L.U. SOLLECITAZIONI COMPOSTE (NTC2008)

TORSIONE, FLESSIONE E SFORZO NORMALE

Le armature longitudinali calcolate come sopra indicato per la resistenza nei riguardi della sollecitazione **torcente** devono essere **aggiunte** a quelle calcolate nei riguardi delle verifiche per **flessione**.

Si applicano inoltre le seguenti regole:

- nella zona tesa all'armatura longitudinale richiesta dalla sollecitazione di flessione e sforzo normale, deve essere aggiunta l'armatura richiesta dalla torsione;
- nella zona compressa, se la tensione di trazione dovuta alla torsione è minore della tensione di compressione nel calcestruzzo dovuta alla flessione e allo sforzo normale, non è necessaria armatura longitudinale aggiuntiva per torsione.

S.L.U. SOLLECITAZIONI COMPOSTE (NTC2008)

TORSIONE E TAGLIO

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo. La verifica è soddisfatta se risulta:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$$

I calcoli per il progetto delle staffe possono effettuarsi separatamente per la torsione e per il taglio, sommando o sottraendo su ogni lato le aree richieste sulla base del verso delle relative tensioni.

ATTENZIONE:

Per l'angolo θ delle bielle compresse di conglomerato cementizio deve essere assunto un unico valore per le due verifiche di taglio e torsione.