

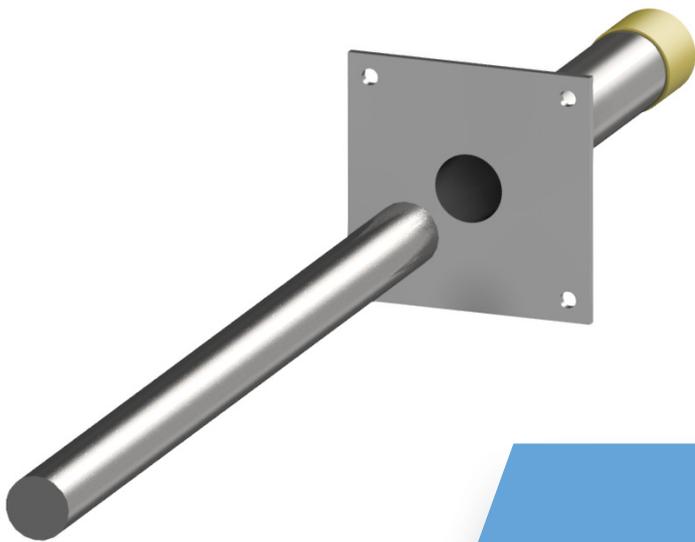
# GRAVIS

amazing strength

## GRAVIS Ambiti di competenza

Capitolo 2: spinotto per la trasmissione della forza di taglio

*Dr. Stefan Lips*



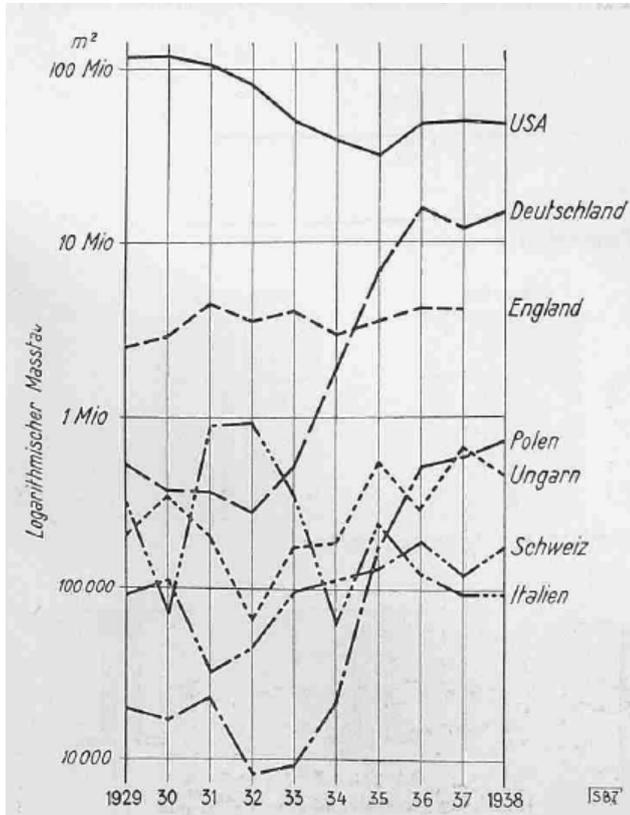
## Contenuto

La storia.....	3
I materiali .....	5
Applicazioni.....	5
Dimensionamento delle solette in cemento armato .....	6
<i>Armatura di sospensione</i> .....	7
<i>Apertura dei giunti</i> .....	7
<i>Spessore delle solette</i> .....	8
<i>Lunghezza di incasso</i> .....	8
<i>Idoneità al servizio</i> .....	9
Dimensionamento delle travi in cemento armato .....	9
Disposizioni costruttive.....	10
<i>Spessore minimo della soletta</i> .....	10
<i>Distanza tra gli spinotti per solette in cemento armato</i> .....	11
<i>Interasse dei spinotti per travi in cemento armato</i> .....	12
Valutazioni.....	13
Letteratura.....	13

# La storia

Gli spinotti per la trasmissione della forza di taglio sono stati utilizzati per la prima volta nei giunti di dilatazione delle strade in cemento. La storia delle strade in cemento risale alla metà del XIX secolo, con la prima strada costruita nel 1865 a Inverness, in Scozia. Mentre la costruzione di strade in cemento in Europa si è sviluppata solo intorno agli anni '30, negli Stati Uniti sono stati costruiti molti chilometri di strade in cemento a partire dall'inizio del XX secolo.

a)



b)

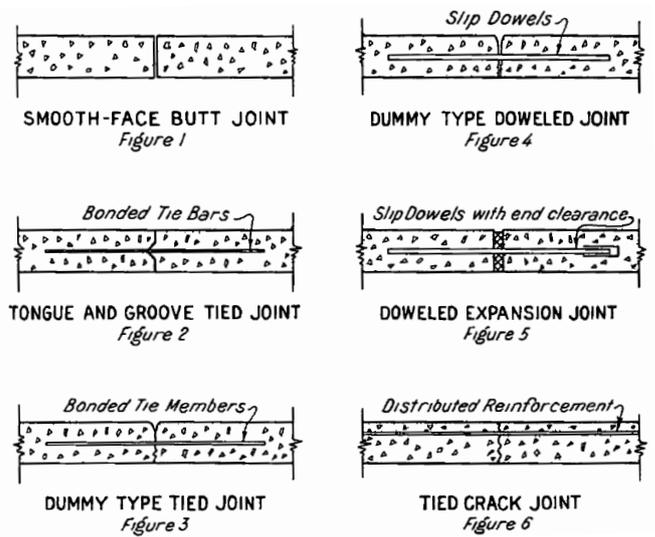


Immagine 1a) Sviluppo delle strade in cemento negli anni '30 (Schnebli, 1945) e b) Formazione dei giunti nelle strade in cemento (Bradbury, 1933).

Durante la costruzione di solette stradali in cemento si pose anche il problema di come formare i giunti per controllare la fessurazione. Nel 1917/18, gli Stati Uniti hanno utilizzato per la prima volta gli spinotti per trasmettere le forze trasversali nei giunti. In questo contesto, non sorprende che i primi approcci al dimensionamento di questi spinotti siano stati sviluppati negli Stati Uniti. Nel 1938 e nel 1940, Friberg pubblicò le basi di calcolo per gli spinotti per la trasmissione della forza di taglio nei giunti trasversali delle strade in cemento. Basandosi sulla pubblicazione di Timoshenko e Lessels, Friberg descrive la distribuzione delle sollecitazioni e la deformazione di uno spinotto trasversale annesso nel cemento.

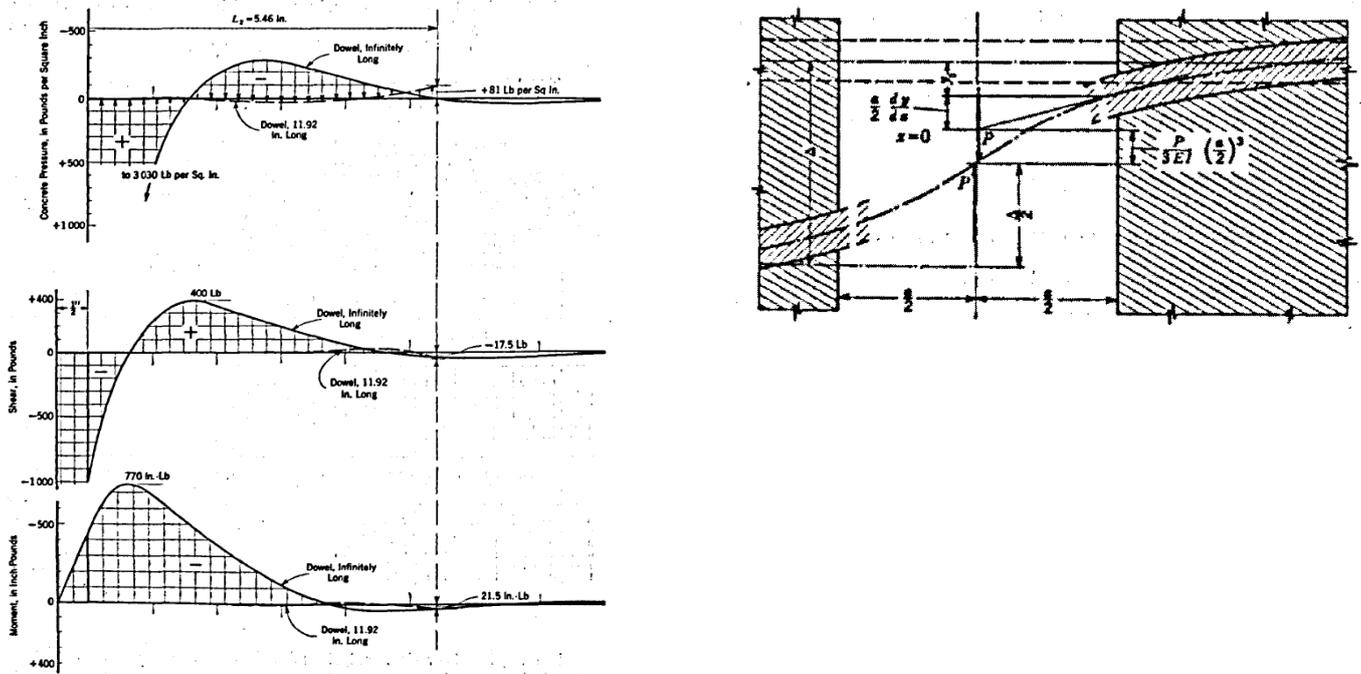


Immagine 2) Curva della forza di taglio e della deformazione lungo un spinotto di taglio di Friberg 1940

Un approccio semplificato è stato pubblicato nel 1983 nel libro 346 del Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (comitato tedesco per le costruzioni in cemento armato), poiché il modello di calcolo di Friberg è stato considerato insoddisfacente a causa del coefficiente di reazione da determinare. L'approccio semplificato proposto si basa su un sistema statico equivalente in cui le estremità degli spinotti annegati nel cemento sono considerati completamente incastrati. Il punto di incastro è stato fissato a una distanza di 0,5 diametro dello spinotto dal bordo del cemento. Sebbene questo approccio sia chiaramente inferiore al lavoro di Friberg da un punto di vista tecnico, questa formula si è affermata in Germania, forse per la sua semplicità. A distanza di quasi 40 anni, nonostante l'evoluzione degli strumenti tecnici, questo approccio semplificato viene utilizzato anche nel documento di valutazione o relazione tecnica europea per gli spinotti a taglio.

Oltre al cedimento dello spinotto, anche l'introduzione di forze nella soletta in cemento armato svolge un ruolo importante. A tal fine, sul bordo viene disposta un'armatura di sospensione che assorbe la forza di taglio sul bordo e la introduce nello spinotto. Lo sviluppo del dimensionamento di questa armatura di sospensione risale a una pubblicazione di Elgehausen et al. del 1992. È stato studiato il cedimento del calcestruzzo considerando gli spinotti caricati in tensione nel cemento. L'ancoraggio viene considerato tenendo conto dell'effetto del gancio della staffa e dell'effetto del legame fino al cono di rottura teorico. Questo approccio è stato infine utilizzato per gli spinotti per la trasmissione della forza di taglio. Tuttavia, presenta due svantaggi; poiché nel calcolo si tiene conto della lunghezza della staffa fino alla fessura teorica, l'approccio al dimensionamento è sensibile alla disposizione delle staffe. Variazioni nella posizione delle staffe dell'ordine di mm possono avere un'influenza significativa sulla resistenza ultima calcolata. Inoltre, la lunghezza dell'ancoraggio e l'effetto del gancio sono considerati solo da un lato. Questo è appropriato per l'uso iniziale sui bordi del cemento, poiché viene considerato solo un lato della superficie del calcestruzzo. Quando si utilizzano gli spinotti per la trasmissione della forza di taglio in solette in cemento armato, la lunghezza dell'ancoraggio e l'effetto del gancio devono essere considerati su entrambi i lati. Tuttavia, ciò implica che le staffe più efficaci sono quelle intersecate dal centro del cono di rottura teorico. Ciò sarebbe in contraddizione con la teoria abituale secondo cui le staffe più vicine allo spinotto per la trasmissione dello sforzo di taglio sono più efficaci. Quando è stata redatta la valutazione tecnica europea o la relazione tecnica, questo fatto non è stato preso in considerazione, con il risultato che, come mostrato nella Figura 3b, la lunghezza di ancoraggio è applicata solo su un lato, come illustrato nella parte inferiore dell'immagine. Da un punto di vista statico, tuttavia, ciò non ha molto senso, poiché la forza nella staffa deve essere ancorata su entrambi i lati. Alla luce di questi due svantaggi, si consiglia di dimensionare la staffa in base al tasso di armatura.

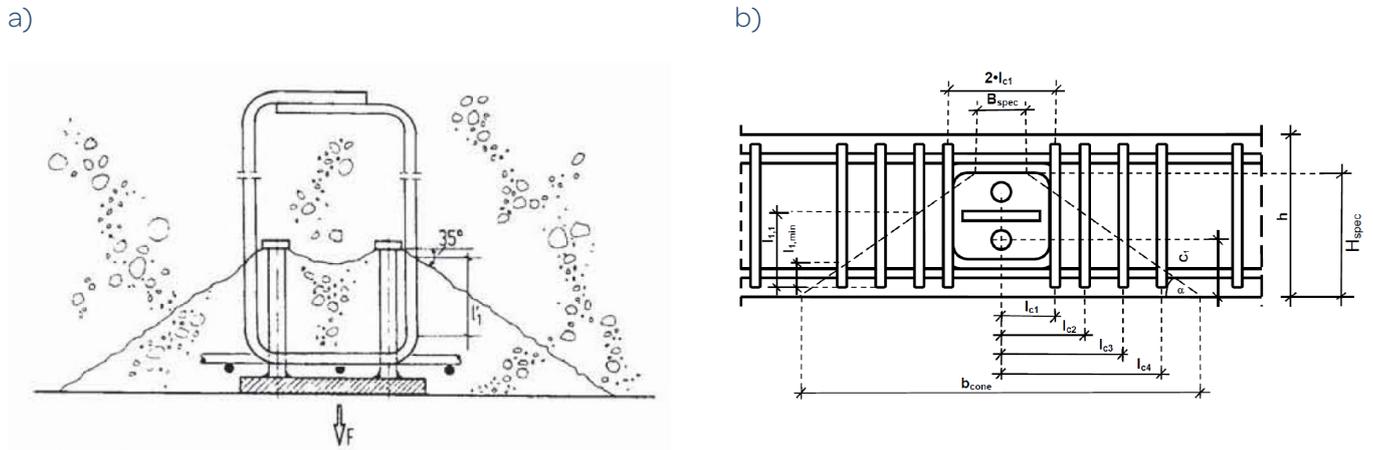


Immagine 3: Osservazione di: a) la staffa di ancoraggio da Eligehausen et al (1992) e b) l'armatura di sospensione da EOTA TR 065 (2019).

In Svizzera, l'uso nell'edilizia degli spinotti nei giunti di dilatazione ha avuto inizio negli anni Settanta. Venivano utilizzati semplici spinotti tondi in acciaio, ma di recente sono stati sviluppati anche degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio con elementi di ancoraggio aggiuntivi in calcestruzzo. Alla fine del XX secolo si è assistito a un ulteriore sviluppo degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio per carichi elevati. Grazie a un elemento di ancoraggio in acciaio inossidabile, questi hanno permesso una migliore trasmissione delle forze nelle solette in cemento armato, in modo che fosse possibile trasmettere carichi elevati anche per solette sottili. I futuri progressi nello sviluppo possono essere attesi solo attraverso una migliore comprensione e ottimizzazione delle costruzioni esistenti o attraverso l'uso di nuovi materiali.

## I materiali

Gli spinotti per la trasmissione della forza di taglio nei giunti di dilatazione sono normalmente realizzati in acciaio inossidabile a causa della loro esposizione. A seconda dell'area di applicazione, è necessario scegliere la classe di resistenza alla corrosione III o IV. Per saperne di più sui requisiti e sulla scelta degli acciai inossidabili, consultare GRAVIS area di competenza, Capitolo 1 "l'acciaio inossidabile nell'edilizia".

## Applicazioni

Negli elementi costruttivi in cemento armato, i giunti di dilatazione sono previsti per evitare la formazione di fessure incontrollate. Questi giunti di dilatazione consentono all'elemento costruttivo di deformarsi in seguito a ritiro, scorrimento, variazioni di temperatura o assestamento differenziale. Gli spinotti di trasmissione della forza di taglio sono utilizzati per trasmettere le forze di taglio nei giunti di dilatazione e per garantire che le deformazioni dei componenti da unire siano compatibili. Questi garantiscono la trasmissione delle forze, consentono il movimento degli elementi costruttivi e sono facili da progettare. Per questo motivo, negli ultimi decenni sono stati utilizzati in diversi elementi costruttivi in cemento armato, come solette, travi, pareti e muri di sostegno.

In linea di principio, esistono due tipi di guaine, quelli che consentono solo la deformazione uniassiale in direzione longitudinale e quelli che consentono anche lo spostamento laterale rispetto all'asse dello spinotto. I giunti a Z ne sono un esempio, in cui esistono zone in cui gli spostamenti possono avvenire lateralmente rispetto agli spinotti di trasmissione della forza di taglio. La Figura 4a illustra questo tipo di situazione in cui, nella zona 1, si verificano solo spostamenti lungo l'asse dello spinotto e, nella zona 2, si verificano spostamenti laterali rispetto agli spinotti. È quindi consigliabile disporre le guaine con spostamenti laterali almeno nella zona 2. Analogamente, quando i giunti sono molto lunghi, possono verificarsi deformazioni nella direzione trasversale del giunto, poiché la soletta in cemento armato si deforma in entrambe le direzioni (immagine 4b). È quindi consigliabile scegliere un punto fisso con delle guaine a spostamento monoassiale (zona 1). Per le altre zone, si dovrebbero scegliere delle guaine con spostamento laterale (zona 2).

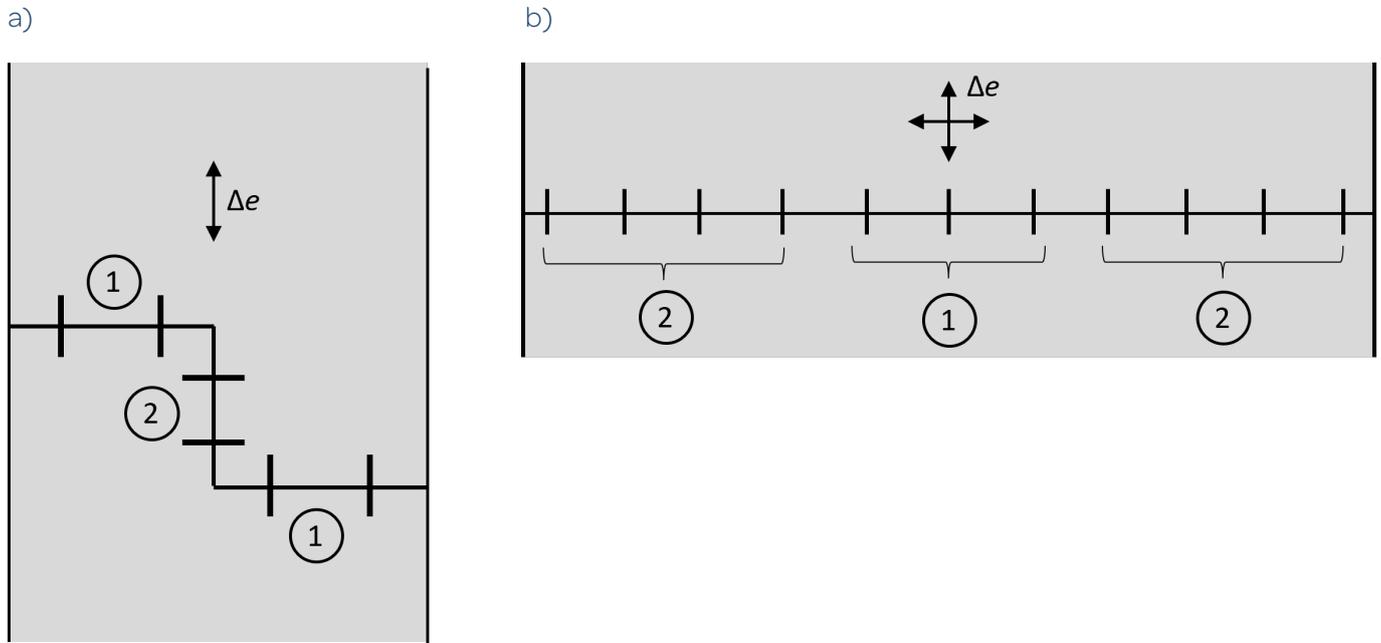


Immagine 4: Movimenti lungo il giunto

## Dimensionamento delle solette in cemento armato

La resistenza ultima degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio si ottiene considerando i seguenti criteri di rottura:

- Rottura dello spinotto
- Fessurazione del bordo del cemento
- Cedimento della biella di compressione del cemento

La resistenza alla trazione dell'acciaio può essere dimostrata tenendo conto del supporto elastico dello spinotto per la trasmissione della forza di taglio e dell'apertura del giunto.

La fessurazione del bordo del calcestruzzo è impedita da un'armatura di sospensione sufficientemente grande.

Il collegamento e l'effetto del gancio della staffa sono presi in considerazione.

La biella di compressione del cemento nella zona di trasmissione della forza tra lo spinotto per la trasmissione della forza di taglio e l'armatura di sospensione è verificata secondo la norma SIA 262:2013.

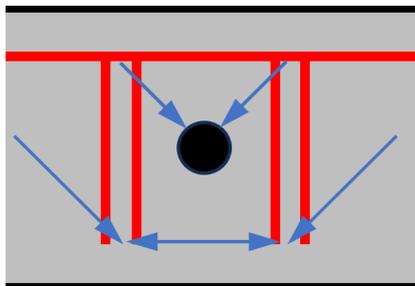


Immagine 5: Direzione delle forze lungo il bordo del calcestruzzo

## Armatura di sospensione

Quando si dimensiona l'armatura di sospensione, si deve tenere conto della sua posizione. Tuttavia, per garantire un'installazione sicura in cantiere, è consigliabile prevedere tolleranze sufficienti in fase di calcolo. I valori indicati nella documentazione tecnica di GRAVITEC sono calcolati con un approccio conservativo, che in alcuni casi porta a un'armatura di sospensione leggermente superiore rispetto ad altri modelli di dimensionamento, ma consente anche maggiori tolleranze di messa in opera. Le staffe seguono una disposizione standard. La prima staffa è posizionata a 20 mm dal bordo dello spinotto. La seconda staffa viene posizionata a 20 mm dall'asse della prima staffa e ogni staffa successiva viene posizionata a 50 mm dall'asse. La tolleranza per la messa in opera dipende dallo spessore della soletta ed è di  $\pm h/15$  mm.

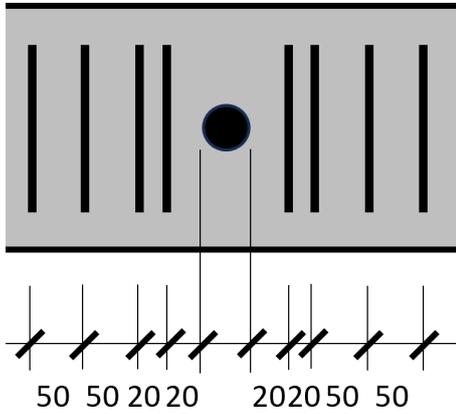


Immagine 6: Disposizione dell'armatura di sospensione

Queste armature di sospensione devono essere sufficientemente ancorati. A tal fine, è necessario rispettare le lunghezze di ancoraggio specificate nella norma SIA 262:2013.

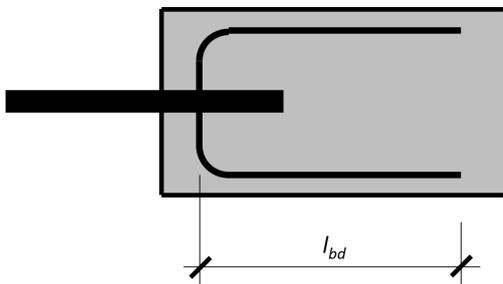


Immagine 7: Ancoraggio delle armature di sospensione

$$l_{bd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{sd}}{f_{bd}} \geq 25\varnothing \quad (1)$$

Per B500, possiamo ipotizzare semplicemente che  $l_{bd} = 50\varnothing$ .

## Apertura dei giunti

L'apertura del giunto è un parametro essenziale per il dimensionamento degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio. L'apertura massima del giunto è sempre determinante. Per questo motivo, al momento del dimensionamento, oltre all'apertura del giunto  $e_0$ , si deve tenere conto della parte di movimento  $\Delta_e$  derivante dal ritiro, scorrimento, differenze di temperatura e assestamenti differenziali. Poiché in genere la percentuale di movimento non può essere determinata con precisione, è necessario prevedere un margine di sicurezza adeguato. Si raccomanda pertanto di tenere conto di un fattore di sicurezza di 1,4 nella determinazione di questo valore.

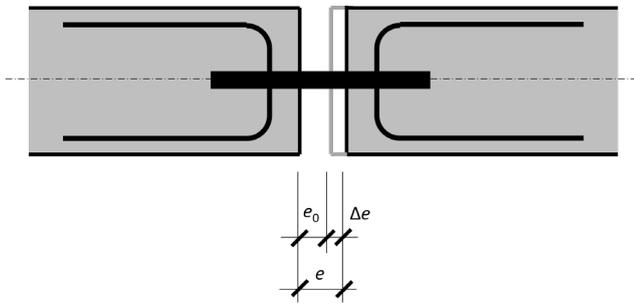


Immagine 8: Apertura del giunto

### Spessore delle solette

La resistenza degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio dipende dallo spessore della soletta. Gli spessori della soletta indicati nelle tabelle di carico si riferiscono a un copriferro di armatura di 20 mm e a una messa in opera dello spinotto centrato in altezza. Nel caso di un copriferro maggiorato, lo spessore della soletta deve essere aumentato di conseguenza.

$$h_{eff} = h_{c=20} - 40 \text{ mm} + 2 \cdot c_{nom} \quad (2)$$

dove  $h_{c=20}$  è lo spessore della soletta specificato nella documentazione tecnica e  $c_{nom}$  è il copriferro esistente.

Se lo spinotto per la trasmissione della forza di taglio non è posizionato al centro dell'altezza della soletta, lo spessore della soletta deve essere scelto in base alla distanza ridotta rispetto alla superficie della soletta (immagine 9a). Se la direzione della sollecitazione dello sforzo di taglio è chiaramente indicata, lo spessore della soletta può essere determinato di conseguenza (immagine 9b).

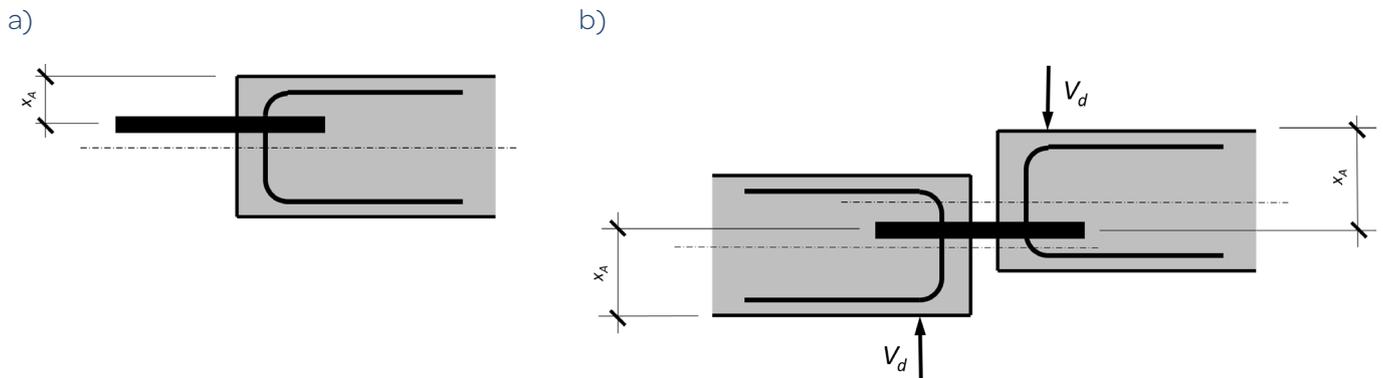


Immagine 9: a) presa in considerazione dello spessore della soletta per gli spinotti trasversali non centrati e senza una direzione di forza definita e b) con una direzione di forza definita.

Lo spessore della soletta da considerare nella tabella di resistenza ultima risulta da :

$$h = 2 \cdot x_A \quad (3)$$

### Lunghezza di incasso

Per garantire la trasmissione delle forze nel calcestruzzo e ottenere un effetto di incasso sufficientemente elevato dello spinotto, è necessaria una lunghezza di incasso minima. Per gli spinotti singoli, questa lunghezza è pari a 6.5 volte il diametro dello spinotto. Per un diametro dello spinotto di 20 mm, ciò corrisponde a una lunghezza di 130 mm. Per i sistemi di spinotti con corpi di introduzione del carico, questo

valore può essere ridotto, ma deve essere dimostrato sperimentalmente. In generale, un aumento della lunghezza di incasso non influisce sul valore di progetto del carico ultimo. Gli spinotti o le guaine più lunghe non forniscono quindi alcun valore aggiunto.

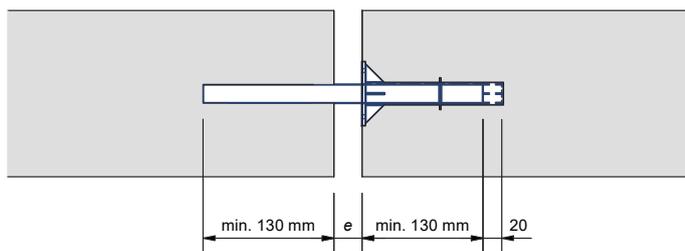


Figura 10: Esempio di lunghezza di incasso di un singolo spinotto di 20 mm di diametro.

### Idoneità al servizio

Mentre le deformazioni sono infime per le piccole aperture dei giunti, la deformazione verticale all'interno del giunto può essere determinante per le aperture dei giunti più grandi. Le resistenze indicate nella documentazione tecnica di GRAVIS sono concepite in modo che la deformazione verticale tra elementi costruttivi adiacenti sia inferiore a 2 mm in stato di servizio.

Una messa in opera accurata è essenziale per garantire che la guaina possa spostarsi in stato di servizio. La piastra da inchiodare della guaina deve essere fissata saldamente alla superficie del cassero. In presenza di più spinotti per la trasmissione della forza di taglio, è necessario assicurarsi che siano installati parallelamente l'uno all'altro, in modo che lo spostamento possa svolgersi senza intoppi. In caso di grandi movimenti dovuti alla temperatura, occorre soprattutto tenere presente che le grandi rotazioni delle solette possono influire sulla possibilità di spostamento degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio. Questo vale in particolare per gli elementi di facciata combinati con solette in cemento armato unidirezionale.

## Dimensionamento delle travi in cemento armato

Per il collegamento delle travi in cemento armato si applicano modelli diversi rispetto al collegamento di solette in cemento armato. Nel caso delle travi in cemento armato, non ci si deve aspettare la rottura del bordo del calcestruzzo, ma l'estremità della trave deve essere rinforzata in base alla distribuzione delle forze, in particolare quando si sovrappongono più file di spinotti.

L'immagine 11 mostra la ripartizione delle forze nella zona di trasmissione delle forze. Le forze di taglio provenienti dalla trave devono essere dirette verso la parte superiore del balcone ( $Z_w$ ). Le forze sono trasmesse nella parte anteriore della trave per mezzo delle bielle di compressione del calcestruzzo. Ne derivano forze di trazione orizzontali in direzione della trave ( $Z_D$ ) e forze di trazione verticali lungo la parte anteriore della trave ( $Z_V$ ). Queste forze di trazione gravano sugli spinotti per la trasmissione della forza di taglio, generando forze orizzontali ( $Z_h$ ).

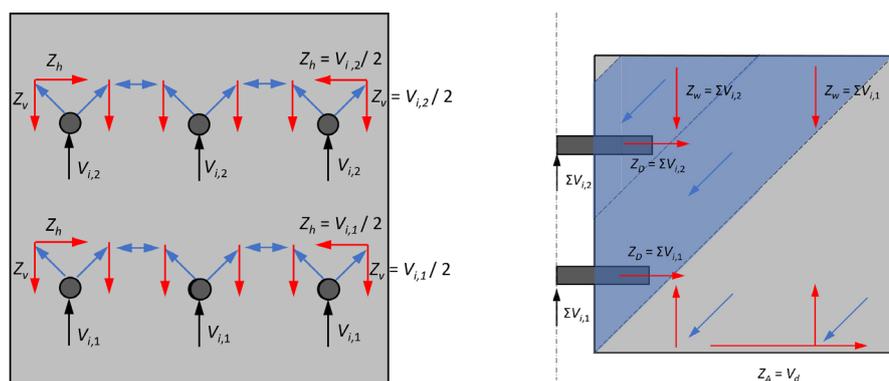


Immagine 11: evoluzione della forza nella zona di applicazione della forza

In base alla distribuzione delle forze descritta qui sopra, l'armatura può essere dimensionata di conseguenza.

- La posizione 1 deve essere collocata nella zona delle bielle di compressione del cemento indicati in blu nell'immagine 11. La totalità della forza di sforzo di taglio  $V_d$  deve essere sospesa, ciò che conduce a una superficie dell'armatura di  $A_{S1} = V_d / f_{sd}$ .
- La posizione 2 assorbe le forze di trazione orizzontali  $Z_D$  nella direzione dell'asse longitudinale della trave. Questa superficie d'armatura dipende dalla forza di ogni spinotto. Per ogni spinotto con forza di taglio, si ottiene una superficie della sezione  $A_{S2} = V_{di,j} / f_{sd}$ .
- La posizione 3 si estende per tutta l'altezza della trave e assorbe le forze verticali  $Z_v$ . Questa armatura deve riprendere la forza totale di una fila orizzontale di spinotti. Ne risulta dunque che per ogni fila verticale di spinotti si ottiene una superficie della sezione  $A_{S3} = V_{di,1} / f_{sd}$ . Questa deve essere disposta per metà a sinistra e per metà a destra della fila verticale di spinotti.
- La posizione 4 assorbe la forza orizzontale per ogni fila orizzontale di spinotti. Questa forza corrisponde alla metà della forza degli spinotti. Per ogni fila di spinotti è quindi necessaria una superficie della sezione di  $A_{S4} = 0,5 V_{di,j} / f_{sd}$ .

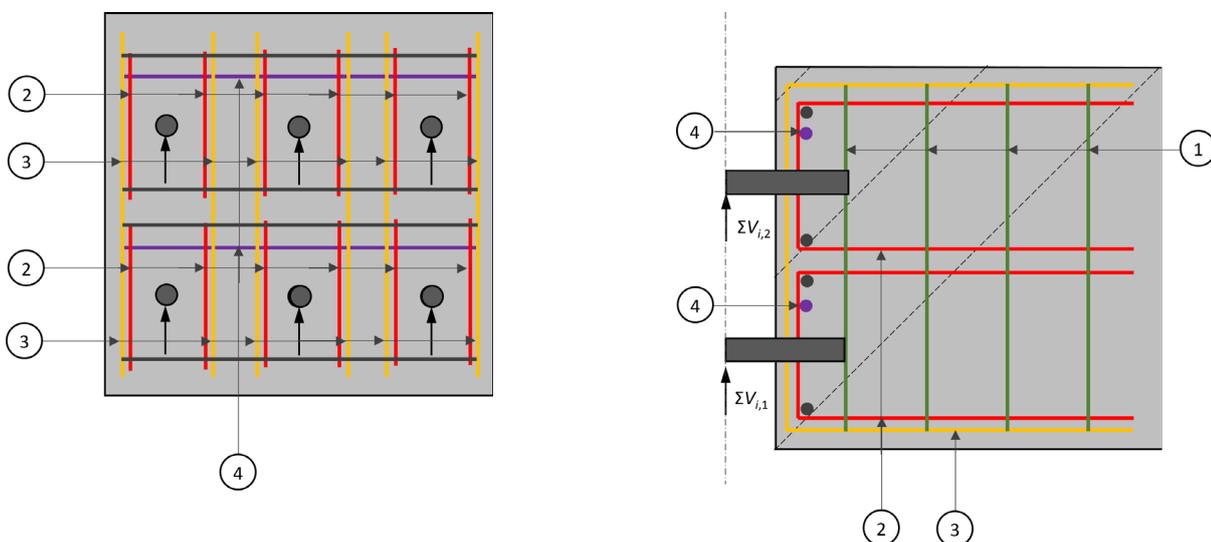


Immagine 12: esempio d'armatura per la zona di applicazione delle forze

Oltre alla disposizione delle armature, è necessario verificare anche la resistenza della biella di compressione del calcestruzzo.

$$V_{Rd,c} = 0.275 \cdot b_w \cdot h_w \cdot f_{cd} \quad (4)$$

dove  $b_w$  è la larghezza della trave,  $h_w$  è l'altezza della biella di compressione del cemento (vedi immagine 11) e  $f_{cd}$  è il valore del calcolo della resistenza alla compressione del calcestruzzo.

## Disposizioni costruttive

### Spessore minimo della soletta

Per garantire che le forze vengano introdotte nella soletta in cemento armato, è necessario rispettare lo spessore minimo della soletta. Gli spessori minimi delle solette sono specificati nella documentazione tecnica. Tuttavia, per lo spessore minimo della soletta si applicano le stesse condizioni che per la scelta dello spessore della soletta per il dimensionamento (immagine 9).

## Distanza tra gli spinotti per solette in cemento armato

Per ottenere le resistenze ultime indicate nei documenti tecnici, è necessario rispettare le distanze minime tra gli spinotti per le solette in cemento armato. Lo sforzo di taglio da trasmettere non deve superare la resistenza della soletta in cemento armato. Nel caso di solette in cemento armato senza armatura a taglio, è quindi necessario rispettare le distanze minime tra gli spinotti o ridurre le resistenze ultime specificate.

Il valore di calcolo dello sforzo di taglio, ottenuto dividendo la forza dello spinotto per la distanza tra gli spinotti, non deve superare la resistenza allo sforzo di taglio della soletta in cemento armato.

$$v_d = \frac{F_d}{a_D} \leq v_{Rd} \quad (5)$$

Questo può essere riformulato in modo che la distanza minima tra gli spinotti risulti dalla seguente equazione :

$$a_{D,min} = \frac{F_d}{v_{Rd}} \quad (6)$$

La resistenza allo sforzo di taglio può essere determinata in conformità alla norma SIA 262:2013.

$$v_{Rd} = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \quad (7)$$

con

$$k_d = \frac{1}{1 + \varepsilon_v \cdot d \cdot k_g} \quad (8)$$

con

$$\varepsilon_v = \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \frac{m_d}{m_{Rd}} \quad (9)$$

e

$$k_g = \frac{48}{(16 + D_{max})} \quad (10)$$

Il valore calcolato del momento è uguale a zero al centro del giunto. Nella sezione di controllo, a una distanza  $d/2$  dal bordo della soletta, l'effetto di flessione può quindi essere calcolato utilizzando l'apertura del giunto e l'altezza statica.

$$m_d = v_d \cdot (e + d)/2 \quad (11)$$

Per quanto riguarda la distanza tra gli spinotti, è necessario verificare che i coni di rottura di due spinotti adiacenti per la trasmissione della forza di taglio, ipotizzati nel modello di calcolo, non si sovrappongano. La larghezza del cono di rottura nominale si calcola con la seguente formula:

$$b_c = 1.5 \cdot h_{min} \quad (12)$$

dove  $h_{min}$  è lo spessore minimo della soletta specificata per il tipo di spinotto.

Se questo valore non viene raggiunto, è possibile trasmettere al massimo la seguente forza trasversale:

$$V_{Rd, max} = V_{Rd(e=10mm)} \cdot \alpha_D / (1.5 h_{min}) \quad (13)$$

dove  $V_{Rd(e=10mm)}$  è il valore di calcolo della resistenza ultima dello spinotto per la trasmissione di forza di taglio per lo spessore della soletta esistente con un'apertura del giunto di 10 mm.

Per analogia, questo si applica alle distanze ai bordi della soletta se la distanza dal bordo della soletta  $a_R < 0.75 h_{min}$ :

$$V_{Rd, max} = V_{Rd(e=10mm)} \cdot \alpha_R / (0.75 h_{min}) \quad (14)$$

dove  $V_{Rd(e=10mm)}$  è il valore di calcolo della resistenza ultima dello spinotto per la trasmissione di forza di taglio per lo spessore della soletta esistente con un'apertura del giunto di 10 mm.

### Interasse dei spinotti per travi in cemento armato

Per una trasmissione ottimale delle forze, le travi in cemento armato devono rispettare le distanze minime tra gli spinotti in direzione verticale e orizzontale. In entrambe le direzioni, le distanze minime tra gli spinotti di trasmissione della forza di taglio corrispondono allo spessore minimo della soletta  $h_{min}$  per ciascun modello di spinotto, come specificato nella documentazione tecnica. Le distanze minime rispetto ai bordi corrispondono alla metà dello spessore minimo della soletta.

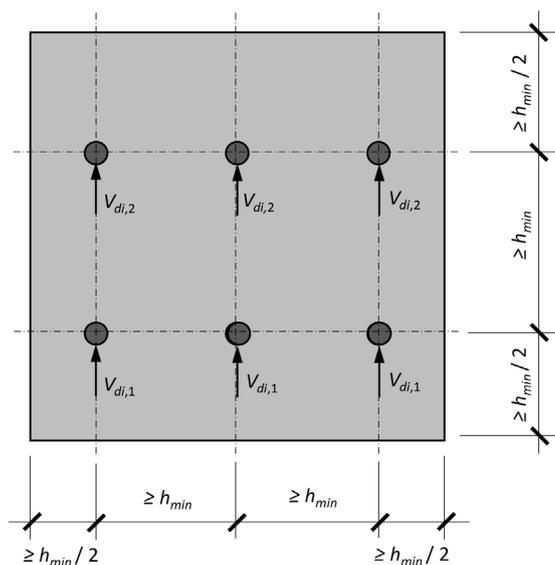


Immagine 13: distanze minime per le travi in cemento armato

## Valutazioni

$a_D$	Interasse degli spinotti per la trasmissione della forza di taglio
$a_{D,min}$	Distanza minima tra gli spinotti
$a_R$	Distanza tra l'asse dello spinotto e il bordo della soletta
$A_s$	Superficie della sezione d'armatura
$b_c$	Larghezza del cono di rottura teorico
$c_{nom}$	Copriferro dell'armatura
$d$	Altezza statica
$D_{max}$	Diametro massimo dell'aggregato
$e$	Apertura del giunto determinante per il dimensionamento
$e_0$	Apertura del giunto effettuato
$\Delta_e$	Parte del movimento di apertura del giunto
$E_s$	Valore medio del modulo di elasticità dell'acciaio d'armatura passivo
$\epsilon_v$	Deformazione nominale dell'armatura di trazione
$f_{bd}$	Valori di calcolo della sollecitazione di aderenza
$f_{cd}$	Valori di calcolo della resistenza alla compressione del calcestruzzo
$F_d$	Valori di calcolo della forza dello spinotto
$f_{sd}$	Valori di calcolo del limite di snervamento dell'acciaio per armatura passivo
$h$	Spessore della soletta
$h_{eff}$	Spessore effettivo della soletta
$h_{min}$	Spessore minimo della soletta
$k_g$	Coefficiente per la presa in considerazione del diametro degli aggregati
$L$	Lunghezza dello spinotto per la trasmissione della forza di taglio o della guaina
$l_{bd}$	Lunghezza dell'ancoraggio
$m_d$	Valori di calcolo del momento di flessione
$m_{Rd}$	Valori di calcolo della resistenza alla flessione per unità di lunghezza
$T_{cd}$	Valori di calcolo per la resistenza al taglio
$v_d$	Valori di calcolo dello sforzo di taglio per unità di lunghezza
$V_d$	Valori di calcolo dello sforzo di taglio
$x_A$	Distanza tra l'asse dello spinotto e la superficie della soletta

## Letteratura

Bradbury, R. D., Design of Joints in Concrete Pavements, Report of committee of highway design, USA, 1933, pagg. 105-141.

Eligehausen, R., Fuchs, W., Ick, U., Mallée, R., Reuter, M., Schimmelpfennig, M., Schmal, B., Tragverhalten von Kopfbolzenverankerungen bei zentrischer Zugbeanspruchung, Bauingenieur 67, 1992, pp. 183-196

Friberg, B., Load and Deflection Characteristics of Dowels in Transverse Joints of Concrete Pavements, Highway research board proceedings, USA, 1938, pp. 140-161.

Friberg, B., Design of Dowels in Transverse Joints of Concrete Pavements, American Society of Civil Engineers, Paper No. 2081, USA, 1940, pp. 1076 - 1095

Heft 346, Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau, Berlino, 1983, pagg. 151 - 155.

SIA 262:2013, Costruzioni di calcestruzzo, Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo, 2013, pp.

Schnebli, W. P., Betonstrassen im Ausland, Schweizerische Bauzeitung, Band 125, Zürich, 1945, pp. 191 - 195

Timoshenko, S., Lessels, J. M., Elasticità applicata, Westinghouse Technical Night School Press, East Pittsburgh, 1925, 544 pp.

TR065, Design of structural joints with shear dowels, Organizzazione europea per la valutazione tecnica EOTA, 2019, 11 pp.

# GRAVIS

amazing strength



GRAVIS AG  
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.swiss



www.gravis.swiss

