

GRAVIS

amazing strength

GRAVIS Ambiti di competenza

Quaderno 3:

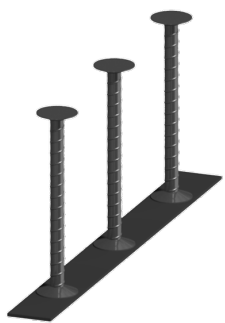
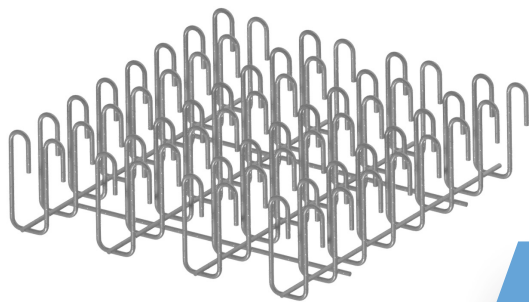
Approccio di dimensionamento GRAVIS

Dimensionamento al punzonamento di

GRAVIDUR PAN

e GRAVIDUR DKA

Prof. Dr. Albin Kenel e Dr. Stefan Lips



Inhalt

In sintesi.....	3
Approccio al dimensionamento.....	3
Convalida.....	5
Letteratura.....	9

In sintesi

L'approccio di GRAVIS per il dimensionamento al punzonamento contiene alcune divergenze rispetto alla norma 262:2025 [1]. Queste divergenze sono state convalidate col supporto di perizie al punzonamento basate sulla letteratura e offrono un livello di sicurezza paragonabile a quello delle solette senza armatura di punzonamento. Le divergenze riguardano i seguenti punti:

- Il fattore 2.0 (k_{sys}) nell'equazione (70) della norma SIA 262:2025 viene aumentato in base al sistema di punzonamento. Vengono utilizzati i seguenti valori:
GRAVIDUR PAN: $k_{sys} = 2.5$, GRAVIDUR DKA: $k_{sys} = 3.0$
- Per calcolare la resistenza dell'armatura di punzonamento, si utilizza il tasso di armatura di punzonamento.
- Per le gabbie a staffe GRAVIDUR PAN, il dimensionamento tiene conto dell'armatura di punzonamento entro i limiti di 0,25 - 1,0 d_v .

Approccio al dimensionamento

In linea di principio, il dimensionamento si basa secondo la norma SIA 262:2025 [1]. Tuttavia, grazie a condizioni di costruzione più severe e a una conoscenza più precisa del metodo di funzionamento dei sistemi, alcuni parametri possono essere adattati.

La verifica delle bielle di compressione del calcestruzzo viene effettuata secondo l'equazione (70) della norma SIA 262:2025. Tuttavia, il fattore 2.0 è definito come k_{sys}

$$V_{Rdcc} = k_{sys} \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

(1)

dove per GRAVIDUR PAN, $k_{sys} = 2.5$ e per GRAVIDUR DKA, $k_{sys} = 3.0$. Gli altri fattori sono determinati secondo la norma SIA 262:2025.

Per la verifica della rottura nell'area dell'armatura di punzonamento, ci si basa sull'equazione (66) della norma SIA 262:2025.

$$V_{Rdcs} = V_{Rdc} + V_{Rds}$$

(2)

dove V_{Rdc} è determinato come per le solette senza armatura di punzonamento. La parte dell'armatura di punzonamento è calcolata come segue:

$$V_{Rds} = k_e \cdot A_{sw} \cdot \sigma_{sd}$$

(3)

dove k_e e σ_{sd} sono determinati secondo l'equazione (57) e l'equazione (69) della norma SIA 262:2025.

La superficie da considerare per l'armatura di punzonamento A_{sw} è determinata per GRAVIDUR DKA, ancoraggio a doppia testa, dall'utilizzo di un tasso di armatura fittizio:

$$A_{sw} = n_r \cdot \eta_{sw} \cdot A_{sw,i}$$

(4)

dove n_r è il numero di barre di posizionamento e $A_{sw,i}$ è la superficie della sezione trasversale di un ancoraggio.

Il valore η_{sw} tiene conto della distribuzione proporzionale delle forze della prima e della seconda fila di ancoraggi ed è definito come segue:

$$\eta_{sw} = \frac{d_v}{s_o + s_l/2}$$

(5)

dove s_o è la distanza tra gli ancoraggi tra il bordo di appoggio e la prima fila di ancoraggi, s_l è la distanza tra le file di ancoraggi e d_v è l'altezza statica efficace allo sforzo di taglio.

Rispetto alla norma 262:2025, questa procedura fornisce generalmente resistenze ultime leggermente più conservative. Tuttavia, consente un maggiore margine di tolleranza durante il montaggio degli ancoraggi.

Per le gabbie a staffe GRAVIDUR PAN, la superficie ammissibile dell'armatura di punzonamento A_{sw} viene determinata in base al tasso di armatura.

$$A_{sw} = \rho_{sw} \cdot A_c$$

(6)

dove ρ_w è il tasso d'armatura di punzonamento e A_c la superficie nella zona da $0.25d_v$ a $1.0d_v$ dal bordo d'appoggio. La valutazione delle perizie mostra che per le gabbie a staffe, i limiti normativi (da $0.35d_v$ a $1.0d_v$) portano a valori molto conservativi. Adattando i limiti, questo aspetto può essere in qualche modo mitigato.

La verifica al punzonamento al di fuori della zona con armatura di punzonamento viene effettuata secondo la norma SIA 262:2025.

$$V_{Rdout} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v,out} \cdot u_{out}$$

(7)

dove $d_{v,out}$ è l'altezza che agisce come forza di taglio e u_{out} è il perimetro della sezione di controllo all'esterno dell'armatura di punzonamento. k_r und τ_{cd} sono determinati come per l'armatura di punzonamento senza armatura di punzonamento.

Gli altri meccanismi di rottura sono prevenuti grazie alle disposizioni costruttive.

Disposizioni costruttive

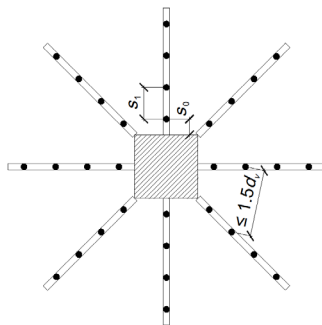
Per i GRAVIDUR PAN, non si applicano condizioni di posa più severe rispetto al dimensionamento presentato in questo documento. In maniera generale, per le gabbie GRAVIDUR PAN, è necessario garantire la presenza di almeno una barra di armatura in ogni gancio di ancoraggio. La distanza tra il bordo di appoggio e la prima staffa deve essere al massimo pari alla distanza tra le staffe della gabbia corrispondente.

Per GRAVIDUR DKA, si applicano le seguenti condizioni per l'utilizzazione del dimensionamento presentato in questo documento:

- La distanza radiale prevista tra il bordo di appoggio e la prima fila degli ancoraggi a doppia testa deve essere $s_0 = 0.375 d_v$ betragen.
- La distanza radiale pianificata in pianta tra il bordo di appoggio e la seconda fila di ancoraggi a doppia testa ($s_0 + s_1$) non deve superare $1.125 d_v$.
- La tolleranza di posa per la distanza radiale tra il bordo della superficie d'appoggio e la prima fila di ancoraggi a doppia testa è di $\Delta_{stol} = \pm 0.075 d_v$. Pertanto, la distanza radiale tra il bordo della superficie d'appoggio e la prima fila di ancoraggi a doppia testa deve essere $0.30 d_v \leq s_0 \leq 0.45 d_v$.

In caso di utilizzazione di GRAVIDUR PAN e GRAVIDUR DKA con i capitelli in acciaio GRAVIDUR CAP, si applicano anche le condizioni di costruzione menzionate precedentemente. Tuttavia, l'asse dell'anima della trave di bordo deve essere considerata al posto del pilastro di bordo. Per semplicità, si può prendere in considerazione anche la trave del profilo di bordo sul lato interno del capitello in acciaio. Se la distanza richiesta s_0 comporta un conflitto tra l'armatura di punzonamento e la flangia del profilo di bordo, l'armatura di punzonamento può essere posata a filo del bordo della flangia.

a)



b)

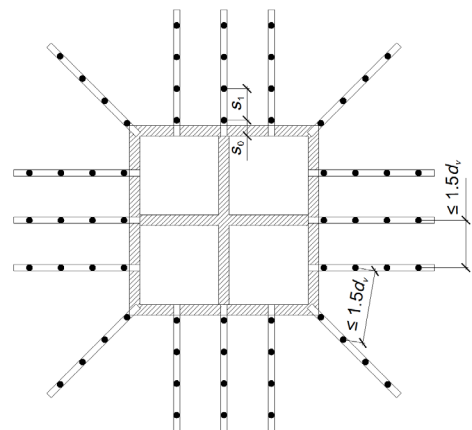


Figura 1: Disposizione degli ancoraggi a doppia testa per 1) la colonna e b) il capitello in acciaio

Convalida

Per la validazione, sono state valutate 53 perizie con armatura a staffa e 36 perizie con ancoraggio a doppia testa tratte dalla letteratura [4-23]. La valutazione è stata effettuata con valori del materiale di livello medio, livello caratteristico e livello di progetto. Le caratteristiche del materiale sono state determinate come segue:

$$\tau_{cm} = 0.3 \cdot \sqrt{f_{cm}} \quad (8)$$

$$f_{bm} = 2 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3} \quad (9)$$

$$f_{ck} = f_{cm} - 4 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

La differenza di 4 N/mm² che è più rigorosa che secondo l'equazione (6) della norma SIA 262:2025, si spiega con il fatto che la dispersione è più bassa nelle prove di laboratorio che in cantiere [24]. Durante la valutazione sono stati utilizzati $\eta_{fc} = 1.0$ und $\eta_t = 1.0$.

$$\tau_{ck} = 0.3 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (11)$$

$$f_{bk} = 2 \cdot 0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3} \quad (12)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (13)$$

$$\tau_{cd} = 0.3 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} = 0.3 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1.5} \quad (14)$$

$$f_{bd} = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} = \frac{1.4 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{1.5} \quad (15)$$

$$f_{sk} = (f_{sm} - 20 \text{ N/mm}^2) \quad (16)$$

Per le prove di laboratorio - con l'acciaio d'armatura proveniente dallo stesso lotto - la differenza tra il valore medio e il valore caratteristico è di 20 N/mm² [25].

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{f_{sk}}{1.15} \quad (17)$$

I frattili del 5% indicati sono stati determinati conformemente alla norma SN EN 1990:2002 [26], supponendo una distribuzione normale con V_x noto.

Il confronto tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze calcolate a livello medio (figura 2) mostra che è stato raggiunto un elevato livello di sicurezza. I valori medi sono superiori a 1,0 sia per gli ancoraggi a doppia testa che per le staffe. Anche i bassi coefficienti di variazione, pari al 12.6% e al 9.9%, dimostrano inoltre che le ipotesi di base del modello sono molto adatte.

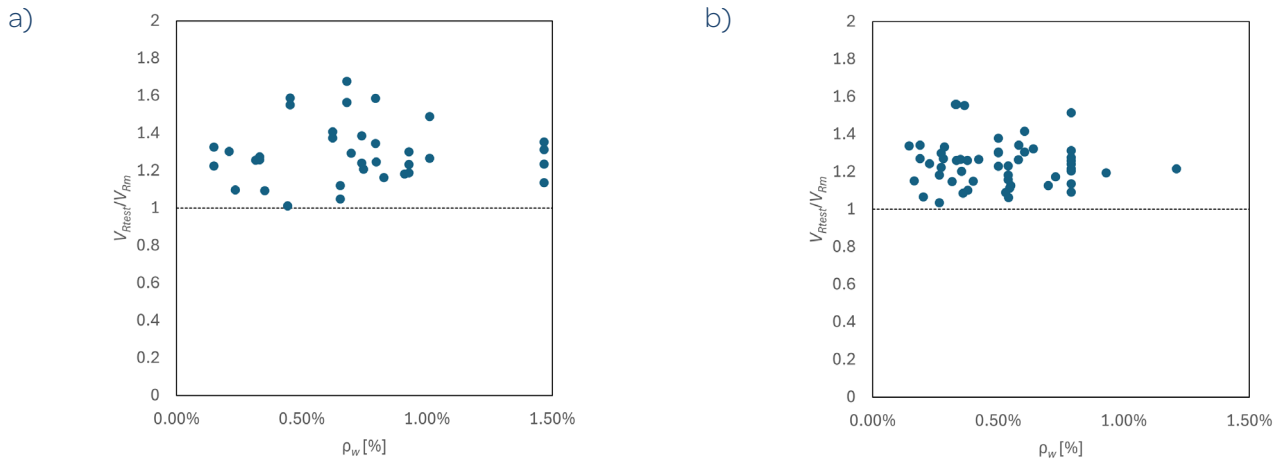


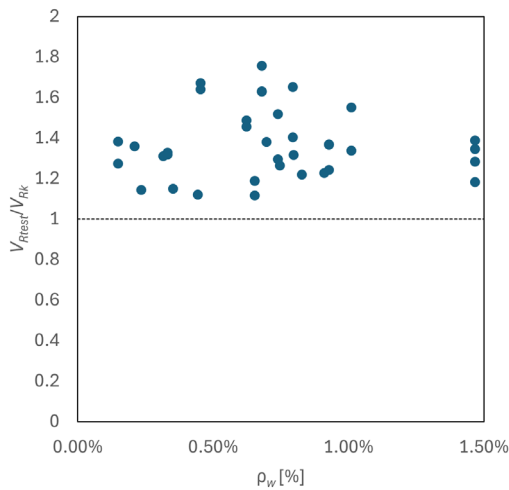
Figura 2 : Rappresentazione del rapporto tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate al valore medio; tracciato in funzione del rapporto di armatura di punzonamento per a) l'ancoraggio a doppia testa e b) la staffa.

Tabella 1 : Valutazione statistica dei rapporti tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate al valore medio.

	Ancoraggio a doppia testa	Staffa
#	36	53
Valore medio	1.30	1.24
Tipo di distanza	0.164	0.123
COV	12.6%	9.9%
Frattile di 5%	1.03	1.04
Valore minimo	1.01	1.04
Valore massimo	1.68	1.56

Il confronto delle resistenze ultime sperimentali con le resistenze calcolate a livello di caratteristica (figura 3) mostra che è stato raggiunto un elevato livello di sicurezza. I frattili del 5% sono maggiori di 1,0 sia per gli ancoraggi a doppia testa che per le staffe. Anche i bassi coefficienti di variazione, pari al 12,4% e all' 11,0%, dimostrano inoltre che le ipotesi di base del modello sono molto adatte.

a)



b)

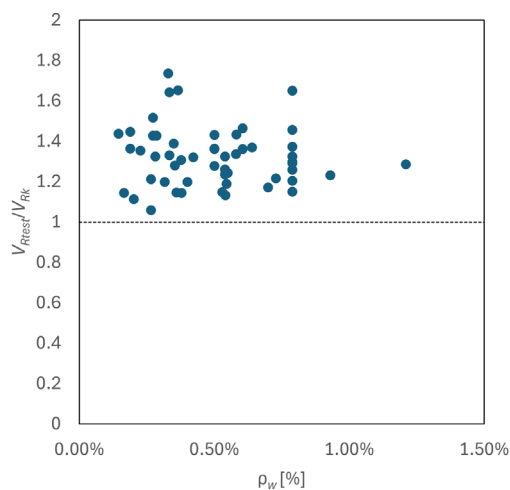


Figura 3 : Rappresentazione del rapporto tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate a livello caratteristico; tracciato in funzione del contenuto d'armatura di punzonamento per a) l'ancoraggio a doppia testa e b) la staffa.

Tabella 2 : Valutazione statistica dei rapporti tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate a livello caratteristico.

	Ancoraggio a doppia testa	Staffa
#	36	53
Valore medio	1.37	1.32
Tipo di distanza	0.170	0.146
COV	12.4%	11.0%
Frattile di 5%	1.09	1.08
Valore minimo	1.12	1.06
Valore massimo	1.76	1.74

Il confronto delle resistenze ultime sperimentali con le resistenze ultime calcolate a livello di dimensionamento (figura 4) mostra che è stato raggiunto un elevato livello di sicurezza. I valori medi di 1.79 e 1.71 sono molto elevati.

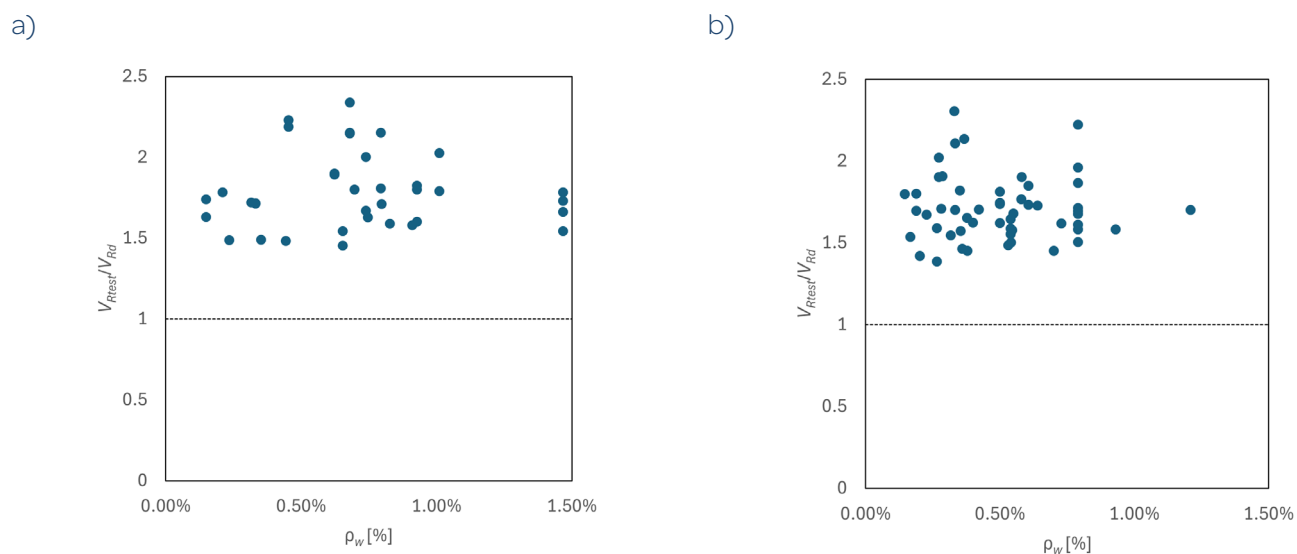


Figura 4 : Rappresentazione della relazione tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate a livello di dimensionamento; tracciato in funzione del contenuto di armatura di punzonamento per a) ancoraggio a doppia testa e b) staffa.

Tabella 3 : Valutazione statistica dei rapporti tra le resistenze ultime sperimentali e le resistenze ultime calcolate a livello di dimensionamento.

	Ancoraggio a doppia testa	Staffa
#	36	53
Valore medio	1.79	1.71
Tipo di distanza	0.233	0.199
COV	13.1%	11.6%
Frattile di 5%	1.40	1.38
Valore minimo	1.45	1.39
Valore massimo	2.34	2.31

Questa valutazione sperimentale mostra che i dati sopra precedentemente descritti permettono di raggiungere un livello di sicurezza sufficiente, almeno pari a quello della punzonatura senza armatura di punzonamento.

Letteratura

- [1] SIA 262:2025, Costruzioni in calcestruzzo, Azienda svizzera degli ingegneri e degli architetti, 2025, 116 pp.
- [2] fib Model Code 2020, Model Code for Concrete Structures, International Federation of Calcestruzzo, 2023, 748 pp.
- [3] Siburg, C.; Ricker, M., "Zur Durchstanzbemessung von Einzelfundamenten", Beton- und Stahlbetonbau, V. 108, Heft 9, pp. 641-653.
- [4] Andersson, J. L., Punching of Concrete Slabs with Shear Reinforcement, Transactions of the Royal Institute of Technology, Stoccolma, Svezia, 1963.
- [5] Beutel, R., Durchstanzen schubbewehrter Flachdecken im Bereich von Innenstützen, Dissertation, RWTH Aachen, 2003, 267 pp.
- [6] Birkle, G., Punching of Flat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layout, Dissertation, University of Calgary, 2004, 217 pp.
- [7] Chana, P. S., Desai, S. B., Design of shear reinforcement against punching, The Structural Engineering, Vol. 70, 1992, pp. 159-164.
- [8] Chana, P. S., A prefabricated shear reinforcement system for flat slabs, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, Vol. 99, 1993, pp. 345-358.
- [9] Einpaul, J., Brantschen F., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Performance of Punching Shear Reinforcement under Gravity Loading: Influence of Tipo of Detailing, ACI Structural Journal, V. 113, No. 4, 2016, pp. 827-838.
- [10] Einpaul, J., Punching strength of continuous flat slabs, Thesis No. 6928, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2016, 209 pp.
- [11] Elstner, R. C., Hognestad, E., Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs, ACI Materials Journal, Vol. 53-2, 1956, pp. 29-58.
- [12] Etter, S., Heinzmann, D., Jäger, T. e Marti, P., Versuche zum Durchstanzverhalten von Stahlbetonplatten, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2009, 64 pp.
- [13] Hegger, J., Häusler, F., Ricker, M., Zur maximalen Durchstanztragfähigkeit von Flachdecken, Beton - und Stahlbetonbau, Vol. 102, 2007, pp. 770-777.
- [14] Ladner, M., Untersuchungsbericht Durchstanzversuche an Flachdeckenausschnitten, 1998 38 pp.
- [15] Lips, S., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Experimental Investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs, ACI Structural Journal, V. 109, No. 6, 2012, pp. 889-900.
- [16] Marti, P., Pralong, J., Thürlimann, B., Schubversuche an Stahlbeton-Platten, Institut für Baustatik und Konstruktion, Nr. 7305-2, 1977, 123 pp.
- [17] Marzouk, H. e Jiang, D., Experimental Investigation on Shear Enhancement Tipo for High-Strength Concrete Plates, ACI Structural Journal, Vol. 94, 1997, pp. 49-58.
- [18] Oliveira, D. R., Melo, G. S. e Regan, P. E., Punching Strengths of Flat Plates with Vertical or Inclined Stirrups, ACI Structural Journal, Vol. 97, 2000 pp. 485-491.
- [19] Regan, P. E. Samadian, F., Shear Reinforcement against punching in reinforced concrete flat slabs, The Structural Engineer, 2001, pp. 24-31.
- [20] Seible, F., Ghali, A., Dilger, W. H., Preassembled shear reinforcing units for flat plates, ACI Journal, Proceedings 77, No. 1, 1980, pp. 28-35.
- [21] Stein, T., Ghali, A., and Dilger, W. H., Distinction between Punching and Flexural Failure Modes of Flat Plates, ACI Structural Journal, Vol. 104, 2007, pp. 357-365.
- [22] Tolf, P., Plattjocklekens inverkan på betongplattors hållfasthet vid genomstansning. Försök med cikulära plattor, Royal Institute of Technology, Dep. of Structural Mechanics and Engineering, Bulletin 146, 1988, 64 pp.
- [23] Vollum, R. L., Abdel-Fattah, T., Eder, M., Elghazouli, A.Y. Design of ACI-type punching shear reinforcement to Eurocode 2, Magazine of Concrete Research, 62-01, 2010, pp. 3-16.
- [24] Reineck, H. H., Kuchma, D. A., Kim, K. S., Marx, S., Shear Database for Reinforced Concrete Members without Shear Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 100, No. 2, marzo-aprile 2003, pp. 240-249.
- [25] JCSS Probabilistic Model Code; Part 3: Material Properties, 2020, 41 pp.
- [26] SN EN 1990:2002, Eurocodice: Basi per la progettazione di strutture portanti, Azienda svizzera degli ingegneri e degli architetti, 2002, 77 pp.

GRAVIS

amazing strength



GRAVIS AG
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.ch



www.gravis.ch

