

# ETA 13/0151: progettazione di lastre in calcestruzzo con elementi PSB come armatura a punzonamento

## INTRODUZIONE

Gli elementi PSB composti da barre con doppia testa a martello saldate su di un profilo (Figura 1) sono attualmente una delle tecniche più competitive per migliorare la resistenza a punzonamento delle lastre in calcestruzzo armato.

Il sistema è in uso sul mercato europeo da più di 20 anni ed è diventato nel tempo molto popolare. Nonostante questo, i metodi di progettazione delle lastre armate con barre con doppia testa a martello non sono ancora stati implementati nella norma europea armonizzata EN 1992-1-1 [1] per le strutture in calcestruzzo armato.



Figura 1. Elementi d'armatura PSB

Nel corso degli ultimi due anni Peikko Group ha investito in modo significativo in diversi progetti di ricerca e sviluppo legati alle **barre a punzonamento PSB**. Questi progetti comprendono la ricerca sperimentale sulle prestazioni di lastre armate con i PSB, l'acquisizione delle omologazioni tecniche nazionali ed europee e lo sviluppo di strumenti per la progettazione. Attualmente l'ETA (European Technical Approval), il Benestare Tecnico Europeo 13/0151 [16], è l'unico riferimento valido per la progettazione di lastre armate con PSB in Europa. L'ETA è anche il riferimento per la marcatura CE dei PSB. L'ETA 13/0151 [16], entrato in vigore nel mese di aprile 2013, è diventato il riferimento per centinaia di progetti realizzati in circa 20 paesi europei. La progettazione è stata generalmente ben accettata dai progettisti e dalle autorità edilizie locali. Tuttavia, i progettisti in un paio di paesi hanno sollevato alcune questioni, soprattutto per quanto riguarda lo status ufficiale/amministrativo di ETA 13/0151 [16] in relazione a EN 1992-1-1. Lo scopo di questo articolo è quello di sviluppare argomentazioni basate sulla ricerca per poter rispondere a tali domande.

## RACCOMANDAZIONI PER LA PROGETTAZIONE CONTENUTE IN EN 1992-1-1

L'Eurocodice EN 1992-1-1 definisce il quadro di base per la progettazione di strutture in calcestruzzo armato in Europa. La progettazione dell'armatura a punzonamento per taglio viene tipicamente effettuata seguendo le seguenti fasi:

1. Resistenza della lastra senza armatura a punzonamento ( $V_{Rd,c}$ );
2. Massima resistenza delle lastre ( $V_{Rd,max}$ );
3. Numero e diametro degli elementi di armatura nel perimetro di controllo di base;
4. Numero dei perimetri o delle barre d'armatura necessari ad attivare una sufficiente resistenza sul perimetro esterno ( $V_{Rd,out}$ ).

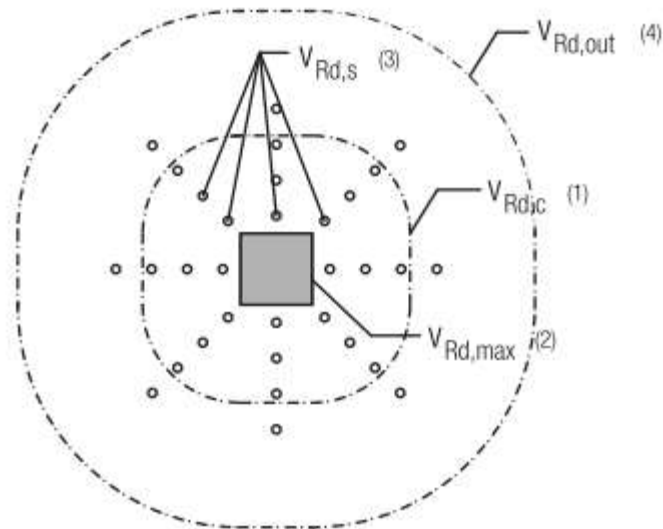


Figura 2. La resistenza della lastra con armatura a taglio.

Informazioni dettagliate sui metodi di progettazione della EN 1992-1-1 possono essere trovate al riferimento 17. Mentre le verifiche 1, 3 e 4 sono relativamente semplici e coerenti con le pratiche che esistevano in passato nei codici nazionali precedenti EN 1992-1-1, la verifica della resistenza massima della lastra sembra invece essere più ambigua. Infatti, secondo il riferimento 17, diversi modelli empirici alternativi sono stati considerati per la verifica di  $R_{d,max}$  durante lo sviluppo della EN 1992-1-1. Il modello implementato in EN 1992-1-1 e pubblicato nel 2004, verifica la resistenza massima della lastra come segue:

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \quad (1)$$

Secondo la conoscenza dell'autore di questo articolo, non c'è alcun riferimento o argomentazione per convalidare la correttezza di questo modello empirico usando argomentazioni basate sulla ricerca. Al contrario, il modello è stato ampiamente discusso e criticato tra ricercatori e progettisti in diversi paesi negli ultimi due anni (vedi riferimenti 10-14). Di conseguenza, l'approccio della EN 1992-1-1 è stato modificato in sette allegati nazionali, ognuno dei quali utilizza proprio approccio progettuale nazionale. In parallelo agli allegati nazionali, la formula è già stata modificata due volte (riferimenti 2 e 3) nel documento di base (EN 1992-1-1) dal 2004, principalmente a causa delle preoccupazioni per quanto riguarda la sicurezza e la pertinenza complessiva (Tabella 1). Il riassunto nella tabella 1 mostra che il quadro di progettazione per le lastre armate con tali staffe è stato relativamente instabile nel corso degli ultimi dieci anni in Europa. Una delle ragioni di questo potrebbe essere la mancanza di conoscenza, comprensione comune e di argomenti scientifici corretti relativi al comportamento delle lastre armate con staffe. Questa osservazione è stata una delle ragioni principali che ha portato il Gruppo Peikko a intraprendere un programma sperimentale incentrato sulla dimostrazione delle prestazioni reali delle lastre armate con barre PSB. I test eseguiti in collaborazione con EPFL di Losanna in Svizzera (vedi riferimento 15 per i dettagli) ha prodotto la prova che è stata utilizzata da parte delle autorità europee nel campo delle costruzioni per concedere l'ETA 13/0151 che è attualmente l'unico riferimento ufficiale e valido per la progettazione di lastre con barre a punzonamento PSB.

Tabella 1. Massima resistenza delle lastre secondo EC2 e gli allegati nazionali.

CEN versions since 2004		EN 1992-1-1 (2004) [1]	$0.5 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d$
		EN 1992-1-1/AC (2010) [2]	$0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d$
		EN 1992-1-1/A1 (2014) [3]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ 1.5 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$
National Annexes	Germany	DIN EN 1992-1-1 [4]	$1.4 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d$
	Austria	Onorm EN 1992-1-1 [5]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ k \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$  $k = 1.4 \text{ for } d \leq 200\text{mm}$ $k = 1.6 \text{ for } d \geq 700\text{mm}$
	Finland	SFS EN 1992-1-1 [6]	Refers to former national standards
	Slovakia	STN EN 1992-1-1 [7]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ k \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$  $k = 1.4 \text{ for } d \leq 200\text{mm}$ $k = 1.8 \text{ for } d \geq 700\text{mm}$
	United Kingdom	BS EN 1992-1-1 [8]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ 2.0 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$
	Sweden	SIS EN 1992-1-1 [9]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.5 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ 1.6 \cdot v_{Rd,c} \cdot \frac{u_1}{u_0} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$
	Switzerland	SN EN 1992-1-1 [18]	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ k_{max} \cdot v_{Rd,c} \cdot \left( \frac{5 \cdot d}{r_s} \right)^{1/3} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right.$

Il campo di applicazione della EN 1992-1-1 è limitato alle strutture armate con barre dettagliate secondo la figura 8.5 di EN 1992-1-1 (riportata in Figura 3).

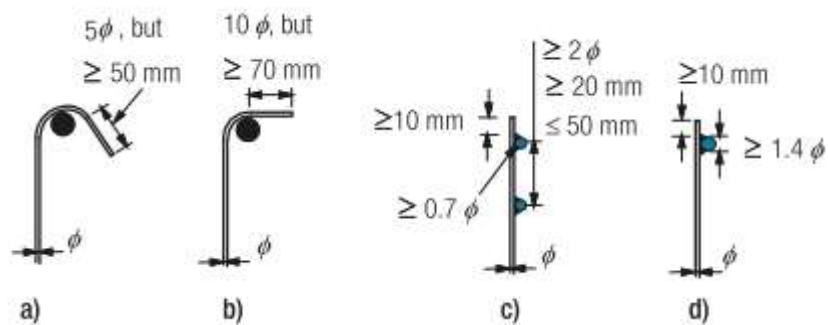


Figura 3. Barre d'armatura che rientrano nel campo di applicazione della EN 1992-1-1.

## RACCOMANDAZIONI DI PROGETTAZIONE SECONDO ETA 13/0151

In conformità con il regolamento sui prodotti da costruzione (UE n ° 305/2011), L'European Technical Approval/Benessere Tecnico Europeo (oggi chiamato European Technical Assessment) viene definito come un "documento che fornisce informazioni sulle prestazioni di un prodotto da costruzione, da dichiarare in relazione alle sue caratteristiche essenziali ". L'ETA può essere rilasciata per prodotti che sono coperti in tutto o in parte da qualsiasi specifica tecnica armonizzata. Al fine di ottenere l'ETA, il costruttore deve soddisfare i requisiti contenuti nei documenti europei di valutazione (EAD, precedentemente noto come CUAP). L'ETA e EAD/CUAP di ogni prodotto per l'edilizia sono convalidati da organismi di approvazione dei 28 stati membri dell'Unione Europea. Le raccomandazioni di progetto contenute nell'ETA 13/0151 per PSB si riferiscono in parte ai principi di progettazione della EN 1992-1-1 e quindi seguono la logica di progettazione descritta nel paragrafo precedente. Tuttavia alcune varianti sono state attuate in modo da rappresentare le proprietà strutturali specifiche delle lastre armate con PSB così come dimostrato dai test. Una delle differenze tra i metodi di progettazione di EN 1992-1-1 e ETA 13/0151 sta nella verifica della resistenza massima delle lastre, che viene formulata in ETA 13/0151 come:

$$V_{Rd,max} = 1.96 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \quad (2)$$

La resistenza viene così formulata in modo analogo al concetto utilizzato nella DIN EN 1992-1-1 con un valore del 40% maggiore della resistenza di una lastra armata con staffe. Il fattore empirico 1.96 è stato calibrato in base ai risultati delle prove su scala reale, sulla base di una valutazione statistica effettuata secondo la norma EN 1990 (vedi riferimento 15 per i dettagli). Finora l'ETA 13/0151 è stata ben accolta e compresa dai progettisti. Se rimangono domande relative a questo progetto, sono per lo più relative allo stato di ETA 13/0151 in relazione alla EN 1992-1-1.

Più precisamente, alcuni progettisti tendono a sovrapporre i due metodi di progettazione e definire la resistenza massima della lastra in calcestruzzo come il minimo tra:

$$V_{Rd,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.4 \cdot \vartheta \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \\ 1.96 \cdot v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d \end{array} \right. \quad (3)$$

Tale interpretazione è probabilmente basata sul presupposto che la formula 1 descrive una rottura della lastra che si verifica indipendentemente dal tipo di armatura a taglio utilizzato nella lastra. Questa ipotesi è tuttavia non convalidata dalla ricerca, almeno non dai test che sono stati utilizzati come riferimento per lo sviluppo dell'ETA 13/0151. La valutazione dei risultati dei test contenuti nella tabella 2 mostra che la formula 2 porta ad una frattile del 5% di 1,0, il che significa che il modello di progettazione è sicuro e affidabile per quanto riguarda i requisiti della EN 1990. Se la stessa valutazione viene effettuata con la formula 3), il frattile del 5% aumenta a 1,07, il che significa che il progetto è ancora sicuro, ma la valutazione è inutilmente conservativa. In pratica, il carico ultimo ottenuto nelle prove con le barre PSB è stato superiore in media del 25% a quello previsto dalla formula 3.

## CONCLUSIONI

Con l'ETA 13/0151, Peikko Group offre ai propri clienti la possibilità di ottimizzare la progettazione delle lastre in calcestruzzo utilizzando metodi di calcolo affidabili convalidati da approfondite ricerche sperimentali. I metodi di progettazione implementati grazie all'ETA 13/0151 sono stati approvati dalle autorità edilizie in tutti i 27 stati membri dell'UE durante il processo di sviluppo dell'ETA. L'European Technical Approval riguarda sia la progettazione delle barre PSB che la progettazione delle lastre in calcestruzzo armate con le barre PSB. La combinazione dell'ETA con la EN 1992-1-1 porta ad un progetto inutilmente conservativo.

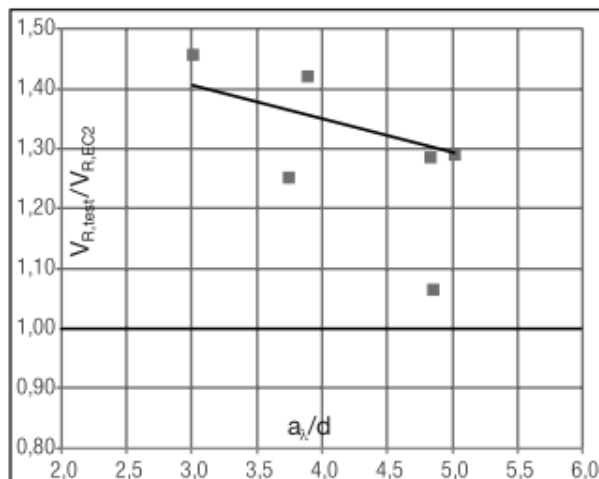
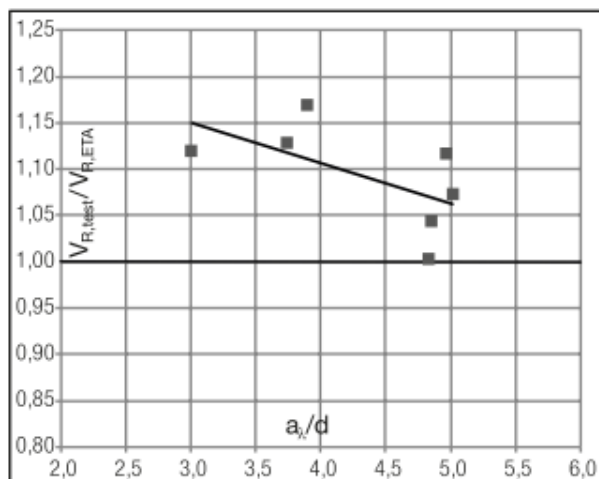


Figura 4. Livello di sicurezza della formula 2 - ETA 13/0151. Figura 5. Modello di sicurezza della Formula 3.

Tabella 2. La valutazione dei modelli di progetto (vedi riferimento [15] per i dettagli dei test).

	$V_{R, test}$	$V_{R, C}$	$V_{R, EC2}$	$V_{R, ETA}$	$\frac{V_{R, ETA}}{V_{R, EC2}}$	$\frac{V_{R, test}}{V_{R, ETA}}$	$\frac{V_{R, test}}{V_{R, EC2}}$
PP1	864	395.3	554.9	774.9	1.40	1.12	1.56
PP2	1095	535.8	1027.7	1050.2	1.02	1.04	1.07
PP3	4754	2076.9	3346.2	4070.8	1.22	1.17	1.42
PP4	2076	946.9	1426.2	1856.0	1.30	1.12	1.46
PP5	1812	922.5	1408.7	1808.1	1.28	1.00	1.29
PL9	3132	1491.8	2429.1	2923.9	1.20	1.07	1.29
PL10	5193	2350.1	4150.0	4606.2	1.11	1.13	1.25
					AVG	1.09	1.33
					COV	0.05	0.15
					5%	1.00	1.07

## RIFERIMENTI

- [1] EN 1992-1-1: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2004
- [2] EN 1992-1-1 / AC: Corrigendum AC - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2010.
- [3] EN 1992-1-1 / A1: 2014 Amendment for: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings,” European Committee for Standardization (CEN), Bruxelles, Belgium, 2014, 4 p.
- [4] DIN EN 1992-1-1 / NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Berlin, 2011.
- [5] Onorm B EN 1992-1-1/NA: National Annex to Eurocode 2 of Austria. Vienna, 2011.
- [6] SFS EN 1992-1-1 / NA: The Finnish National Annex to the standard SFS-EN 1992-1-1. Helsinki, 2007.
- [7] STN EN 1992-1-1 / NA / Z1: National Annex to Eurocode 2 of Slovakia. Bratislava, 2013.
- [8] BS EN 1992-1-1/NA: UK National Annex to Eurocode 2. London, 2009..
- [9] SIS EN 1992-1-1 / NA: National Annex to Eurocode 2 of Sweden. Stockholm, 2011.
- [10] HEGGER, J.- WALRAVEN, J. - HAEUSLER, F.: Zum Durchstanzen von Flachdecken nach Eurocode 2. Beton- und Stahlbetonbau Volume 105, Issue 4, April 2010, p. 206–215.
- [11] HEGGER, J. –SIBURG, C.: Punching – comparison of design rules and experimental data. Design of concrete structures acc. to EN 1992-1-1. Prague, 16-17 September 2010.
- [12] BERTAGNOLI G. - MANCINI G.: On the maximum punching shear resistance adjacent to the column. Symposium in honour of Prof. Toniolo, Milano 5-12-2008, 2008.
- [13] FEIX J. – HAEUSLER F. – WALKNER R.: Necessary amendments to the rules for punching design according to EN 1992-1-1. Design of concrete structures - EN 1992-1-1. Bratislava, 12-13 September 2011.
- [14] LESKALA M.: Inconsistencies in the punching shear design rules of EN 1992-1-1. for CEN TC250/SC2, Helsinki.
- [15] MUTTONI A. - BUJNAK, J. “Performance of slabs reinforced by Peikko PSB studs demonstrated by full scale tests and validated by ETA approval starting April 2013” Concrete connection 01/2013, Customer magazine of Peikko Group.
- [16] Deutsches Institut für Bautechnik, European Technical Approval 13/0151 – PEIKKO PSB Punching Reinforcement. Berlin, Germany, May 2012, 25 p.
- [17] European Concrete Platform ASBL: EUROCODE 2 COMMENTARY. Brussels, 2008.
- [18] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part - 1: General rules and rules for buildings - National annex NA to SN EN 1992-1-1:2004. SIA Zurich, 2014.

$V_{Rd, max}$	Massima resistenza delle lastre con armatura a taglio
$V_{Rd, c}$	La resistenza della lastra senza armatura a taglio
$u_1$	Perimetro di controllo di base
$d$	Altezza utile della lastra
$\varphi$	Fattore empirico
$f_{cd}$	Resistenza a compressione del calcestruzzo
$u_0$	Perimetro del pilastro
$K_{max}$	Parametro che dipende dell'armatura
$r_s$	Parametro che dipende dalla luce del solaio

PSB sistema di prevenzione del collasso a punzonamento

- Un sistema di armatura per strutture gettate in opera e prefabbricate in calcestruzzo.

Guarda il video su YouTube:

