

Convegno Finale

La sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti

**Accordo tra il CSLLPP ed il Consorzio ReLUIS
attuativo dei DM 578/2020 - DM 204/2022 - DM 304/2024**

**WP4: Sperimentazione su componenti strutturali e/o speciali
Task 4.6 Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.**

Modelli di capacità a taglio per le solette da ponte

Prof. Antonio Occhiuzzi

Istituto per le tecnologie della costruzione del Consiglio nazionale delle ricerche
Università degli Studi di Napoli «Parthenope»



Roma, 19-20-21 novembre 2025

Struttura del Task 4.6 – Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.

SubTask 4.6.1 Studio sperimentale e teorico. Campagne sperimentali sulla resistenza a taglio delle solette in c.a. e studi teorici e numerici su specifici modelli di capacità.

SubTask 4.6.2 Modelli di capacità. Analisi dei risultati sperimentali e taratura dei modelli di capacità a taglio appositamente definiti per una proposta normativa/modificativa delle linee guida.

Unità di ricerca afferenti al Task 4.6

Unità di ricerca	Responsabile UR
Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR	Antonio Occhiuzzi (coordinatore del Task)
Università Parthenope di Napoli	Nicola Caterino
Università Federico II di Napoli	Daniele Losanno
Università del Sannio di Benevento	Giuseppe Maddaloni

Si presentano separatamente le attività relative a:

- Capacità a taglio delle solette da ponte;
- Capacità a taglio delle sezioni circolari in c.a.

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – **Base di partenza - 1**

- Il numero dei ponti a travata esistenti è stimato in circa il 75% del totale;
- Per tali tipologie, il piano viabile è tipicamente sostenuto da elementi bidimensionali in c.a. pieno, le “solette”, assimilabili a piastre inflesse di forma rettangolare allungata; Le operazioni di gestione e manutenzione dei ponti stradali hanno spesso riguardato le solette da ponte, per l’effetto combinato della fessurazione all’estradosso, non esplicitamente presa in considerazione dalle varie normative che si sono succedute dal dopoguerra e fino all’ultima decade del XX secolo, e dall’inevitabile utilizzo dei sali anticongelanti;
- Le normative più recenti hanno introdotto dei modelli di carico per le azioni variabili da traffico cui corrispondono sollecitazioni negli elementi secondari di impalcato (solette, traversi, etc.) maggiori rispetto a quelle desumibili dalle normative precedenti;
- I nuovi modelli di carico e gli attuali modelli di capacità risultano "un po’ troppo" impegnativi per le opere preesistenti. Pertanto, nell’ambito delle verifiche di sicurezza dei ponti esistenti, risultano spesso critiche le verifiche a taglio delle solette condotte secondo le normative attuali, nonostante risultino rarissime e sostanzialmente non documentate le problematiche associate alla resistenza a taglio delle solette da ponte in c.a.

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – **Base di partenza - 2**

- Applicando le metodologie correnti per la verifica a taglio delle solette in c.a. (schemi di carico e modelli di capacità) si manifestano, sotto un profilo analitico, problematiche non riscontrabili nella realtà;
- In molti dei casi esaminati la resistenza disponibile a taglio sembra " un po' minore " della corrispondente domanda (Rapporto $C/D = 0,8 \div 0,9$);
- Fermi restando i modelli relativi alle azioni e ai loro effetti, si è quindi pensato di indagare, per via sperimentale, sul grado di «conservatività» delle attuali formule predittive della resistenza a taglio.
- L'indagine è stata condotta su elementi «bassi» in c.a., ritenuti rappresentativi – ai fini della resistenza al taglio – dell'effettivo comportamento delle solette da ponte.

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle solette da ponte – L’indagine sperimentale - 1

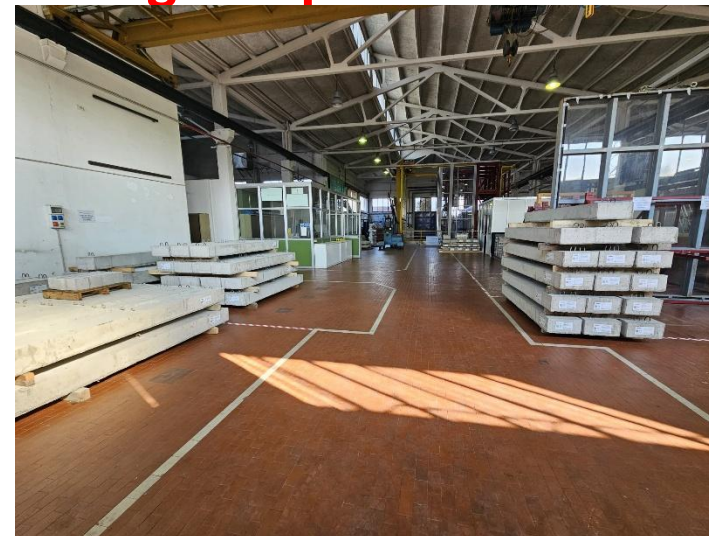
- 57 provini, ciascuno in due esemplari;
- Parametri variabili:
 - Geometria;
 - Posizione del carico;
 - Rapporto di armatura;
 - Classe del cls.

			ρ							
			0,5%	1,0%			1,5%	2,0%		
			C20/25	C16/20	C20/25	C25/30	C20/25	C16/20	C20/25	C25/30
180x15	a _v /d	1	01_SG1		02_SG1		03_SG1		04_SG1	
		2	01_SG2		02_SG2		03_SG2		04_SG2	
		3	01_SG3		02_SG3		03_SG3		04_SG3	
		4			02_SG4				04_SG4	
		5			02_SG5					
240x20	a _v /d	1	05_SG1	13_SG1	06_SG1	15_SG1	07_SG1	14_SG1	08_SG1	16_SG1
		2	05_SG2	13_SG2	06_SG2	15_SG2	07_SG2	14_SG2	08_SG2	16_SG2
		3	05_SG3	13_SG3	06_SG3	15_SG3	07_SG3	14_SG3	08_SG3	16_SG3
		4			06_SG4				08_SG4	
		5			06_SG5					
300x25	a _v /d	1	09_SG1		10_SG1		11_SG1		12_SG1	
		2	09_SG2		10_SG2		11_SG2		12_SG2	
		3	09_SG3		10_SG3		11_SG3		12_SG3	
		4			10_SG4				12_SG4	
		5			10_SG5					

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

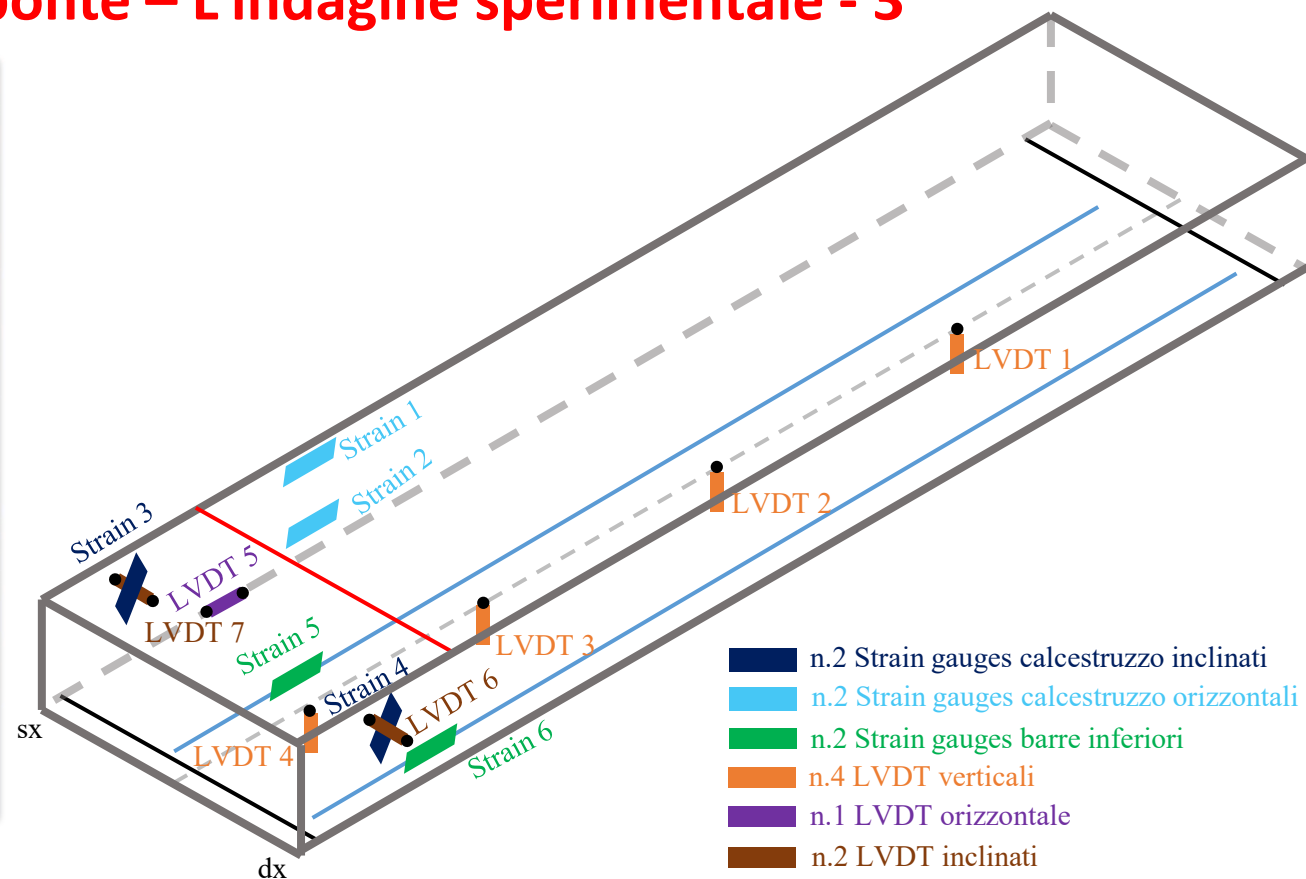
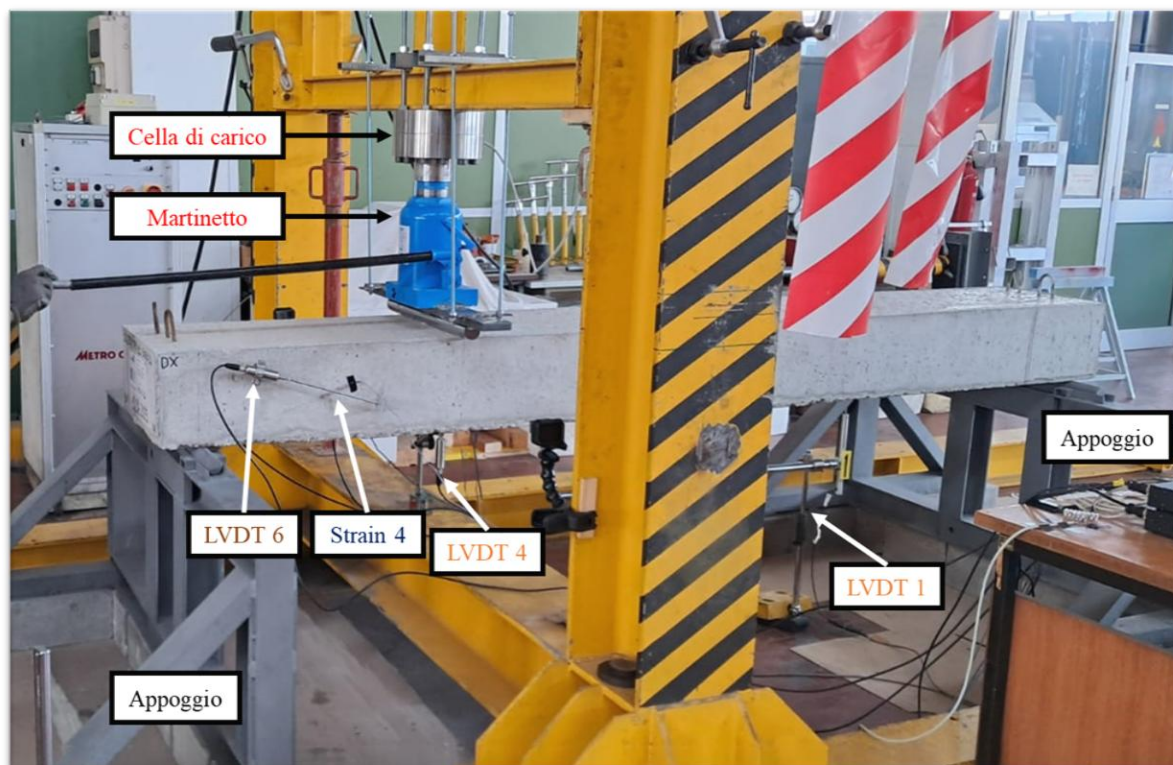
Comportamento a taglio delle solette da ponte – L’indagine sperimentale - 2

- 57 provini, ciascuno in due esemplari;
- Parametri variabili:
 - Geometria;
 - Posizione del carico;
 - Rapporto di armatura;
 - Classe del cls.



Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

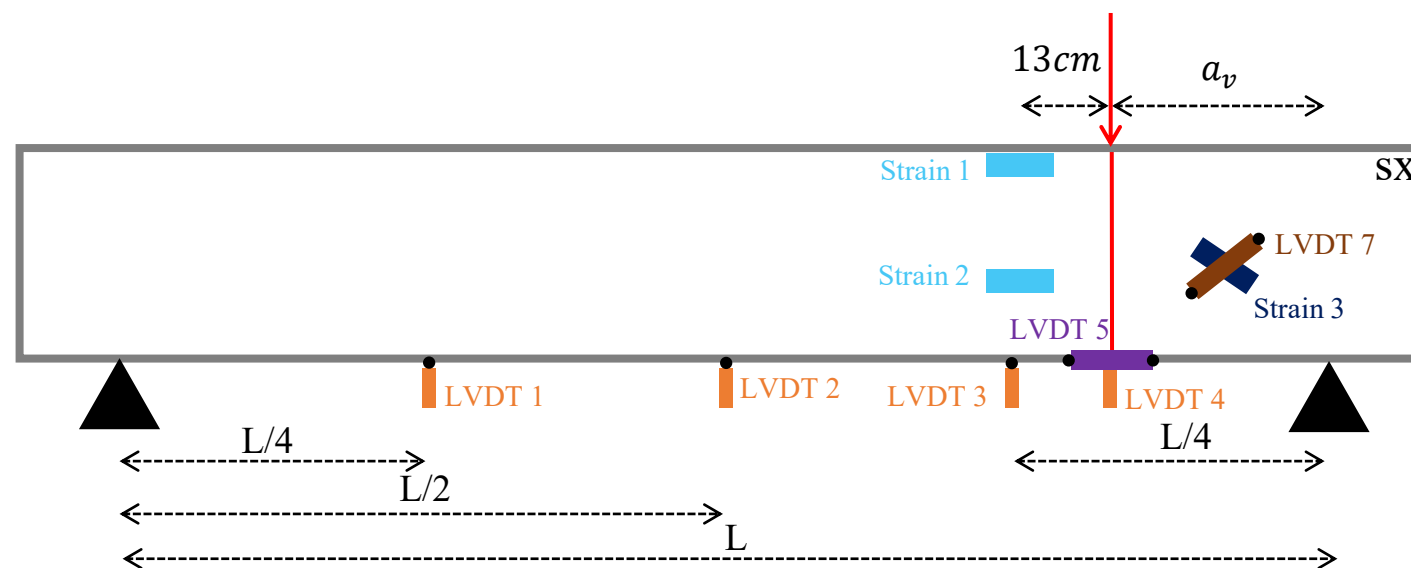
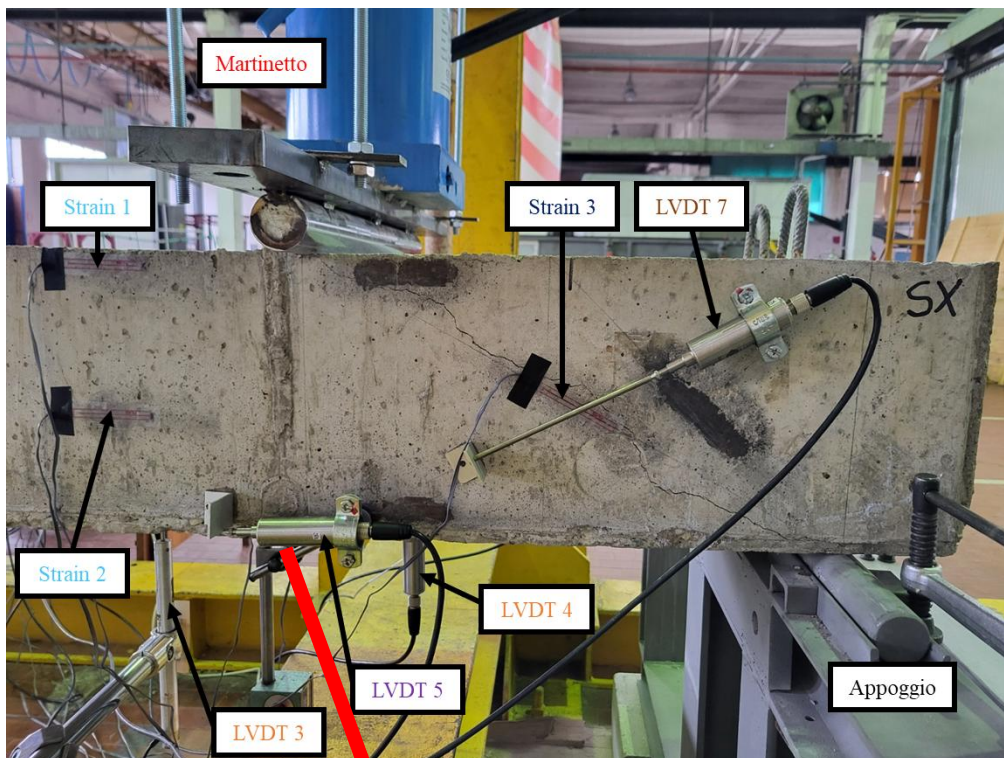
Comportamento a taglio delle solette da ponte – L’indagine sperimentale - 3



- n.2 Strain gauges calcestruzzo inclinati
- n.2 Strain gauges calcestruzzo orizzontali
- n.2 Strain gauges barre inferiori
- n.4 LVDT verticali
- n.1 LVDT orizzontale
- n.2 LVDT inclinati
- Linea di carico
- Barre strumentate
- Contorno soletta
- Posizione vincolo

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle solette da ponte – L’indagine sperimentale - 4

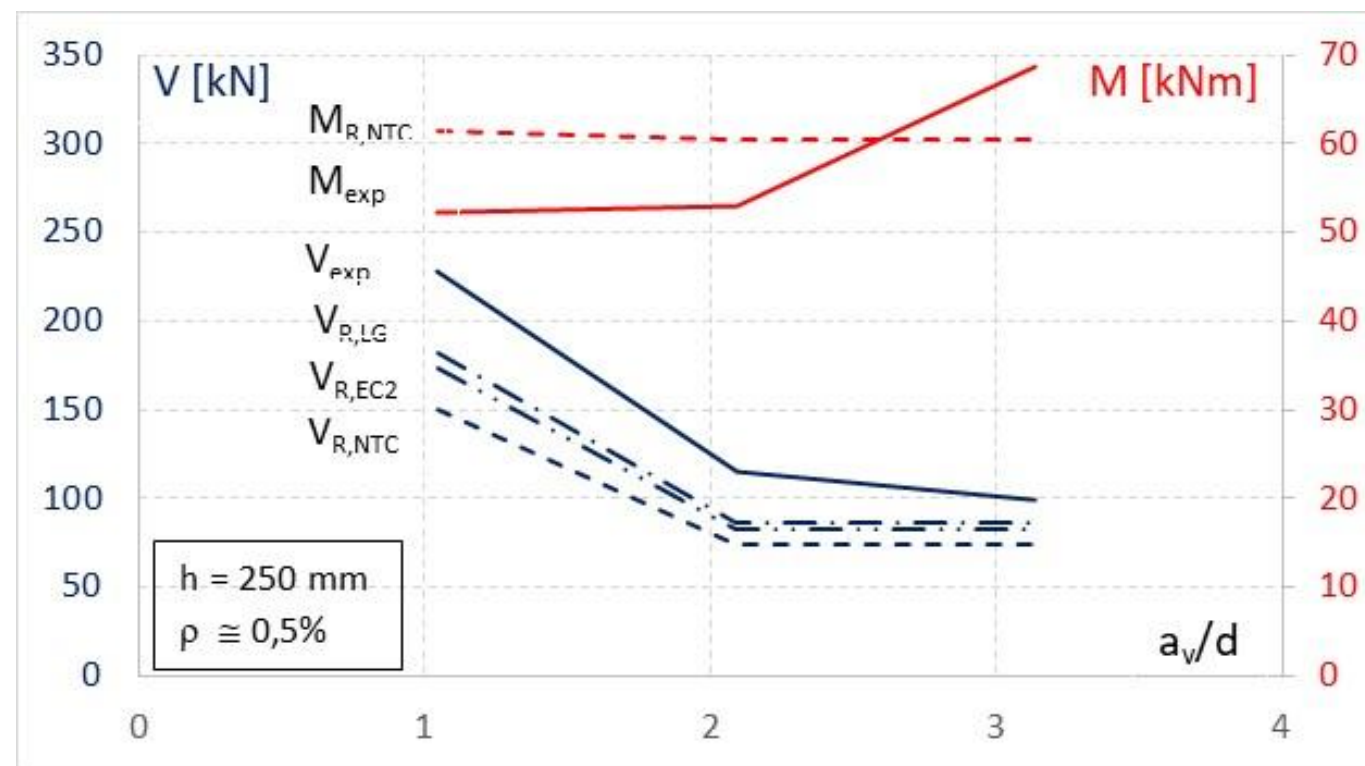


2 strain gauges applicati sull'armatura tesa

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – I risultati della sperimentazione - 1

- $a_v/d \cong 1$: $V_{exp} \gg V_{Rd}$ (limitate differenze tra diversi modelli predittivi);
Rottura per meccanismo locale (puntone-tirante) con armatura tesa snervata;
- $a_v/d \cong 2$: $V_{exp} > V_{Rd}$ (modeste differenze tra diversi modelli predittivi);
Rottura a flessione-taglio (eccessiva distorsione angolare a sezione ampiamente snervata);
- $a_v/d \geq 3$: $V_{exp} \cong V_{Rd}$ (modeste differenze tra diversi modelli predittivi);
Rottura a flessione-taglio.



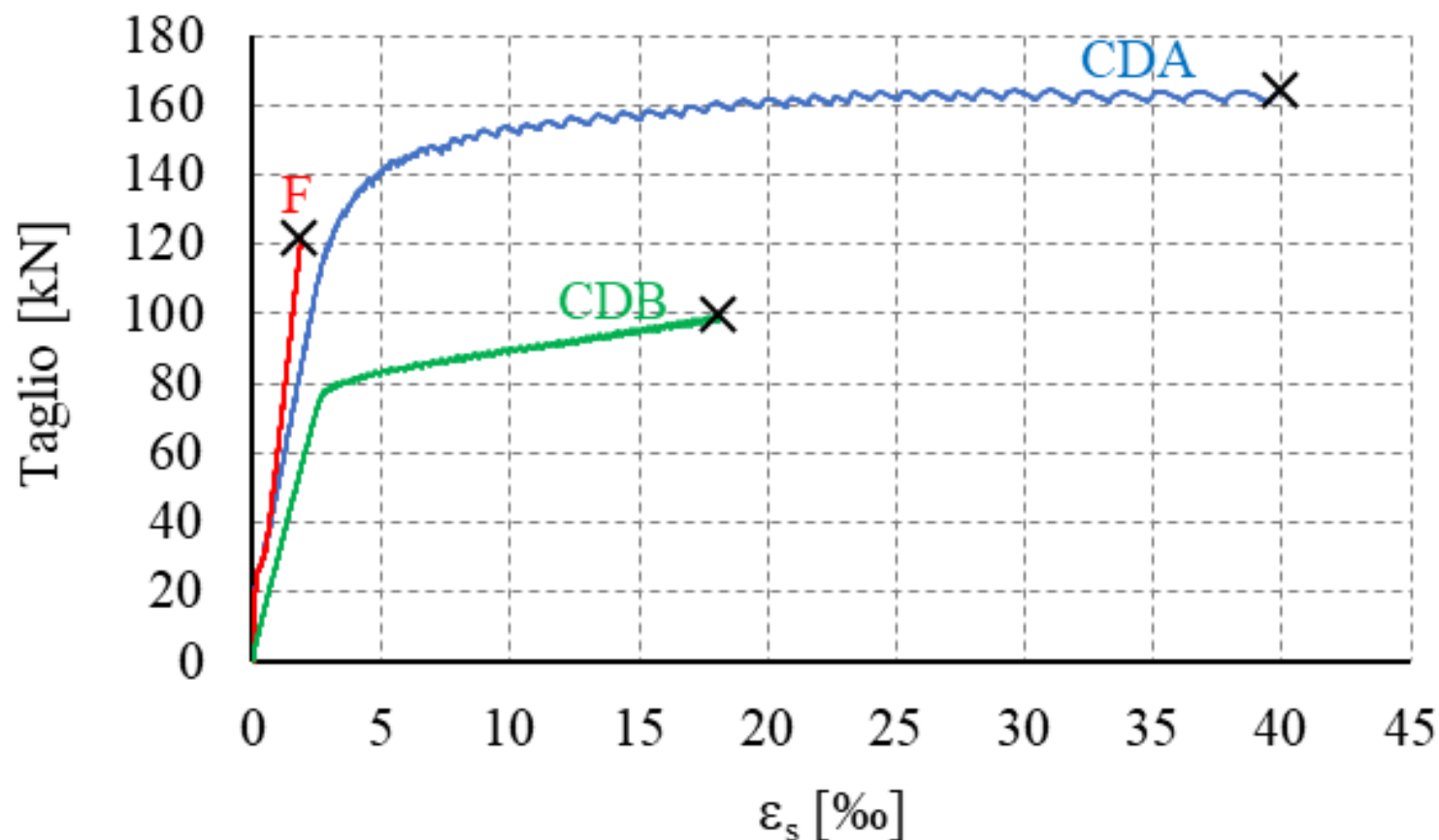
Linee continue: valori sperimentali – Linee a tratto: formule predittive

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle solette da ponte – I risultati della sperimentazione - 2

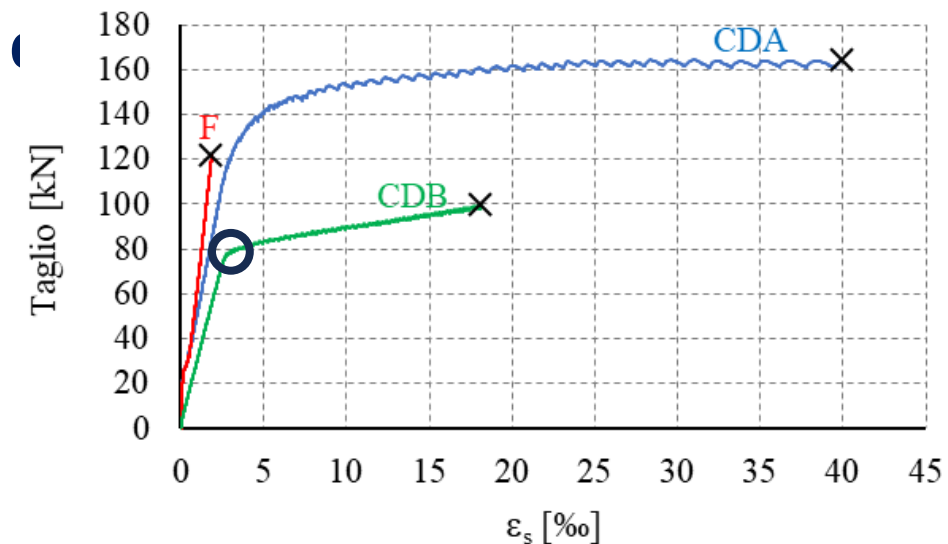
Le prove hanno mostrato la presenza di 3 diversi comportamenti.

Il comportamento prevalente è quello indicato con la sigla «CDB».



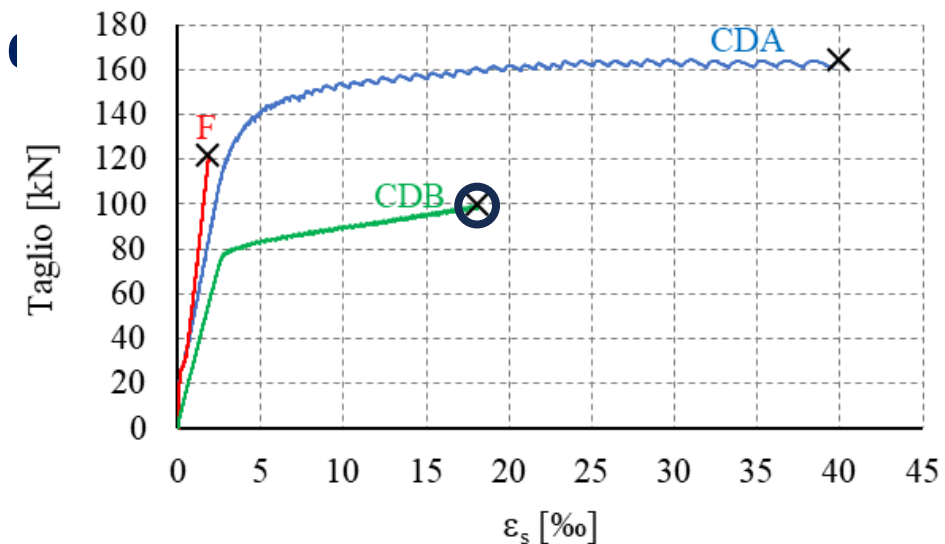
Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c

Comportamento a taglio delle solette da ponte – I risultati della sperimentazione - 3



Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** –
I risultati della sperimentazione - 4

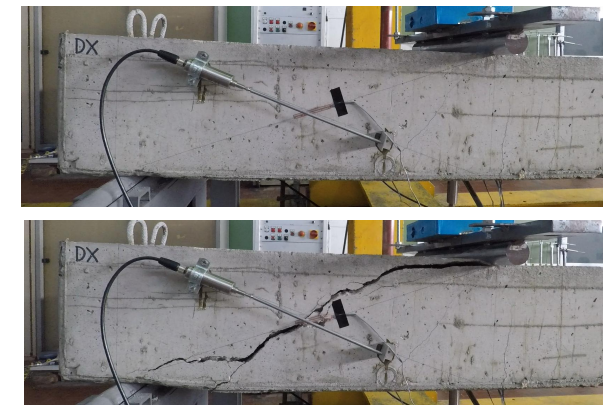


Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – I risultati della sperimentazione - 5

Modelli meccanici di capacità a taglio

1. Capacità del calcestruzzo non fessurato nella zona compressa
2. Effetto ingranamento
3. Effetto spinotto
4. **Contributo legato alla presenza di tensioni residue**



4. Le fessure da taglio che si formano nel calcestruzzo teso presentano in genere diversi **piccoli «ponti»** **che continuano a trasmettere delle tensioni normali da una parete all'altra delle fessure**, quando la corrispondente apertura è compresa tra i 0,05 mm ed i 0,15 mm.

Il contributo 4 è trascurato nelle formulazioni normative, ma è rilevabile nelle attività di laboratorio.

Tale contributo svanisce improvvisamente quando gli spostamenti assumono, nella sezione snervata, valori tali da indurre **distorsioni angolari** di entità tale da «spezzare» i piccoli ponti di materiale resistente a cavallo delle fessure.

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – I risultati della sperimentazione - 6

Modelli meccanici di capacità a taglio

...

4. Contributo legato alla presenza di tensioni residue

E' stato preparato un modello analitico che considera anche il 4° contributo di resistenza a taglio, con il quale è stato possibile riprodurre, in condizioni di rottura:

- il valore del taglio resistente;
- la forma (bilineare) e l'estensione delle fessure a taglio (in **rosso**);

ma (finora) non l'esatta posizione (in **verde**).

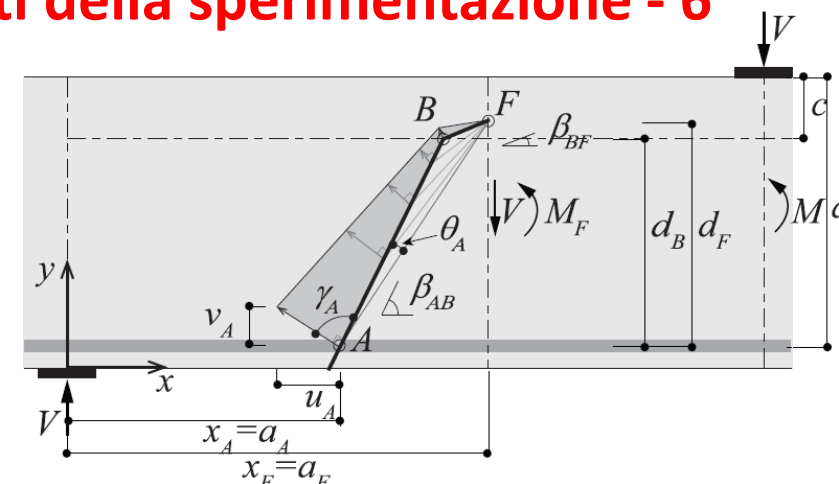
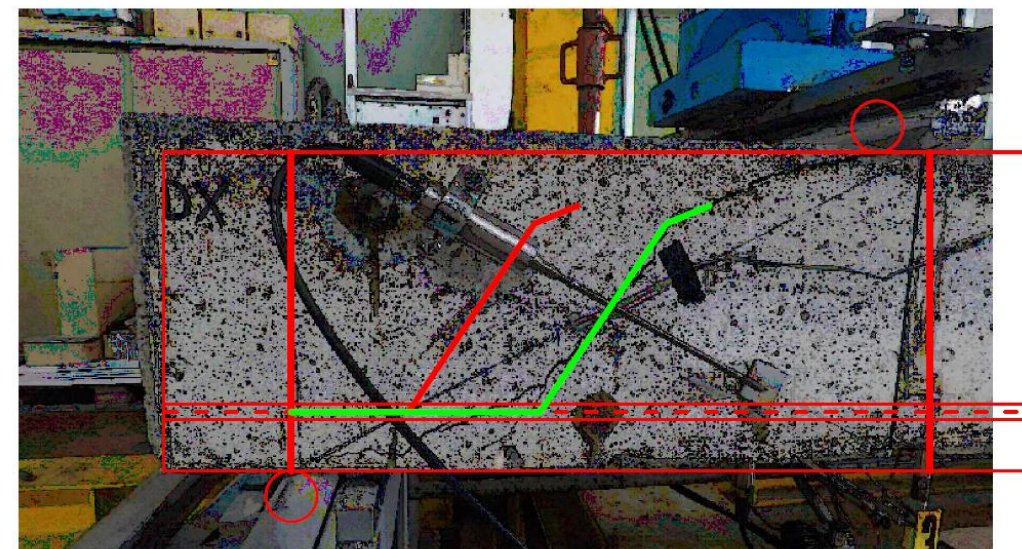


Figura 2.5 – Fessura critica bilineare (Cavagnis et al., 2018)

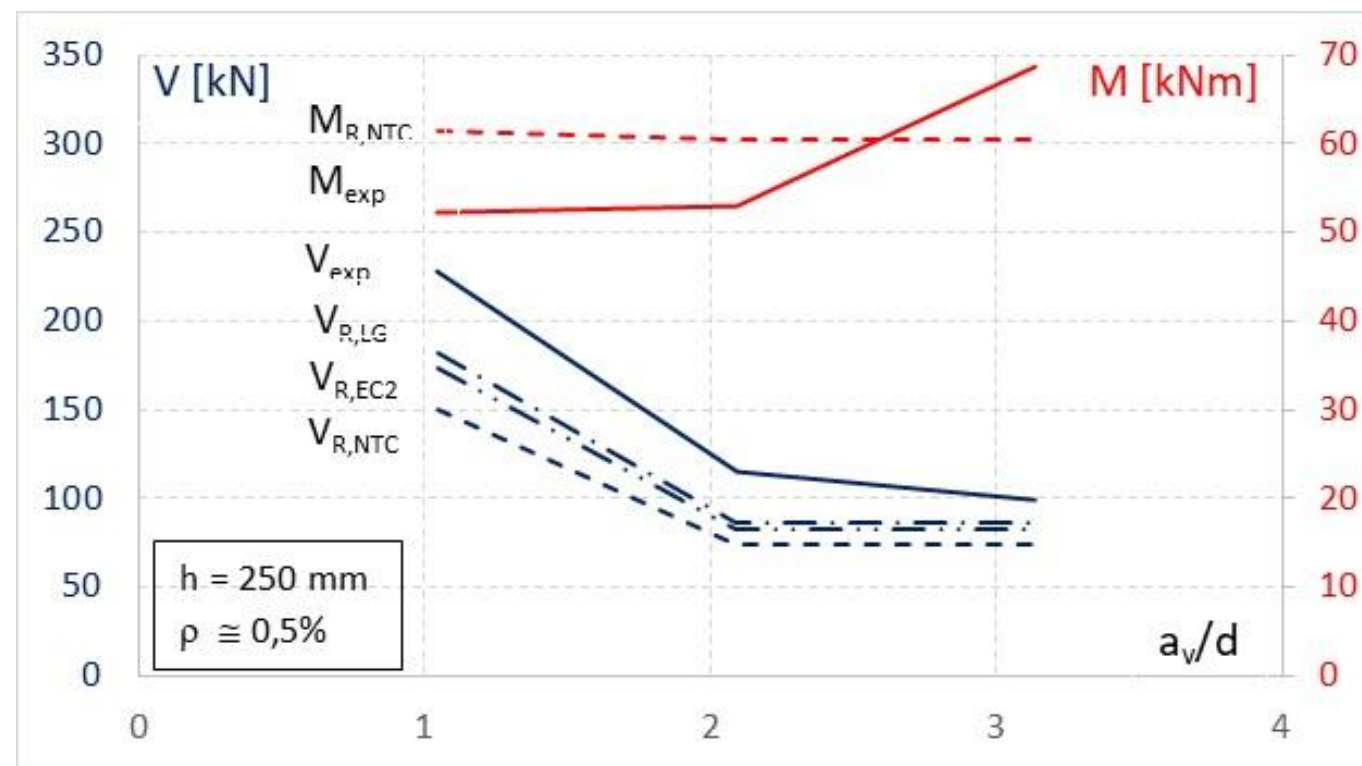


Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – I risultati della sperimentazione - 7

I valori sperimentali di capacità a taglio risultano significativamente maggiori quando è attivo il contributo n. 4, trascurato nelle formule normative, ossia per $1 < a_v/d < 2$.

Nelle formule normative, tutti i coefficienti parziali sono stati posti pari a 1 e sono stati adottati i valori delle resistenze dei materiali determinati sperimentalmente.



Linee continue: valori sperimentali – Linee a tratto: formule predittive

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – La proposta normativa - 1

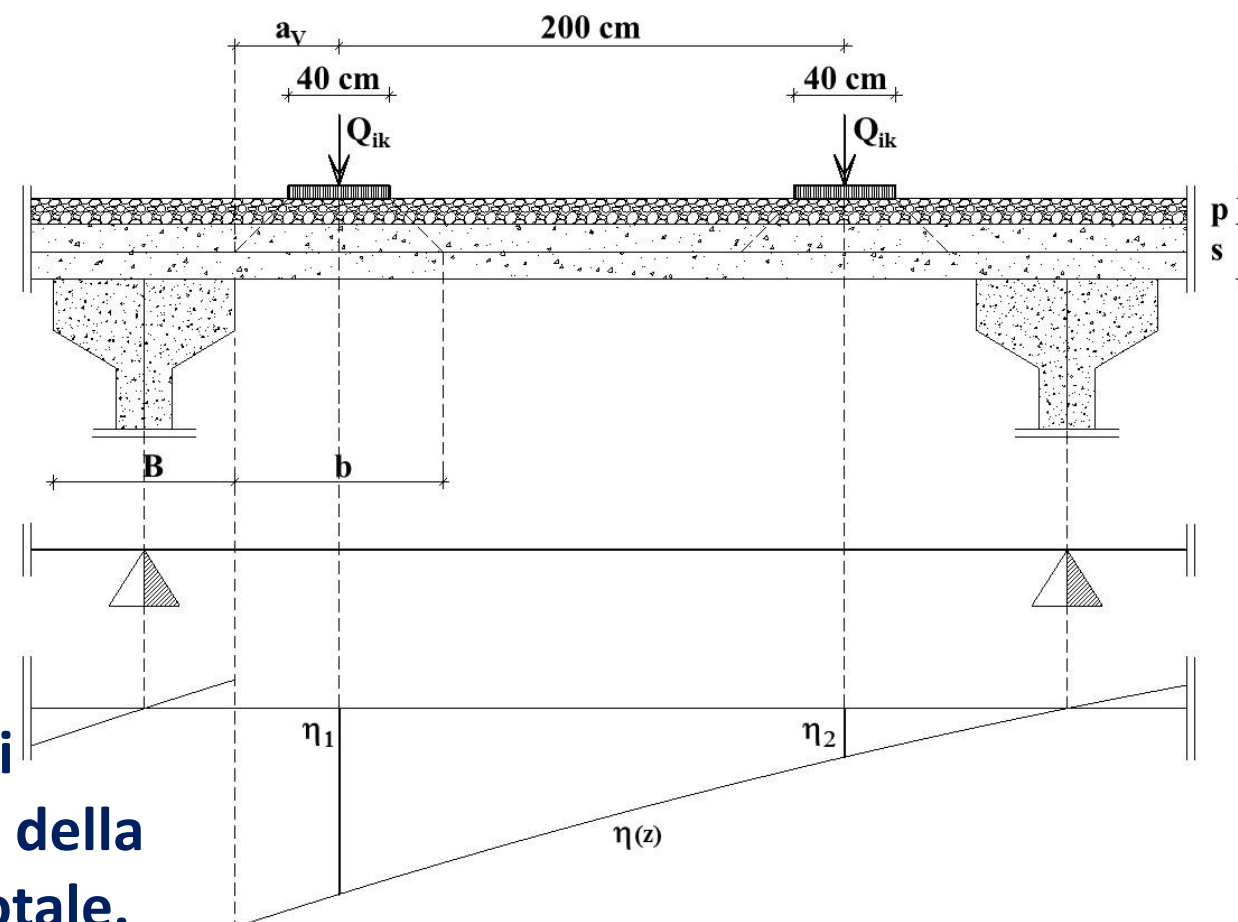
Considerando i valori «tipici» di:

altezza della soletta	s	20 ÷ 30 cm
interasse tra le travi	i	2,0 ÷ 3,5 m
spessore della pavimentazione	p	5 ÷ 10 cm
larghezza delle travi all’estradosso	B	40 ÷ 80 cm
Larghezza impronta diffusa	b	70 ÷ 90 cm

risulta quasi sempre che:

$$a_v/d = 1,6 \div 2,1.$$

In base all’interasse tra le travi, l’impronta di carico più prossima alla trave è responsabile della sollecitazione di taglio per l’80%-100% del totale.



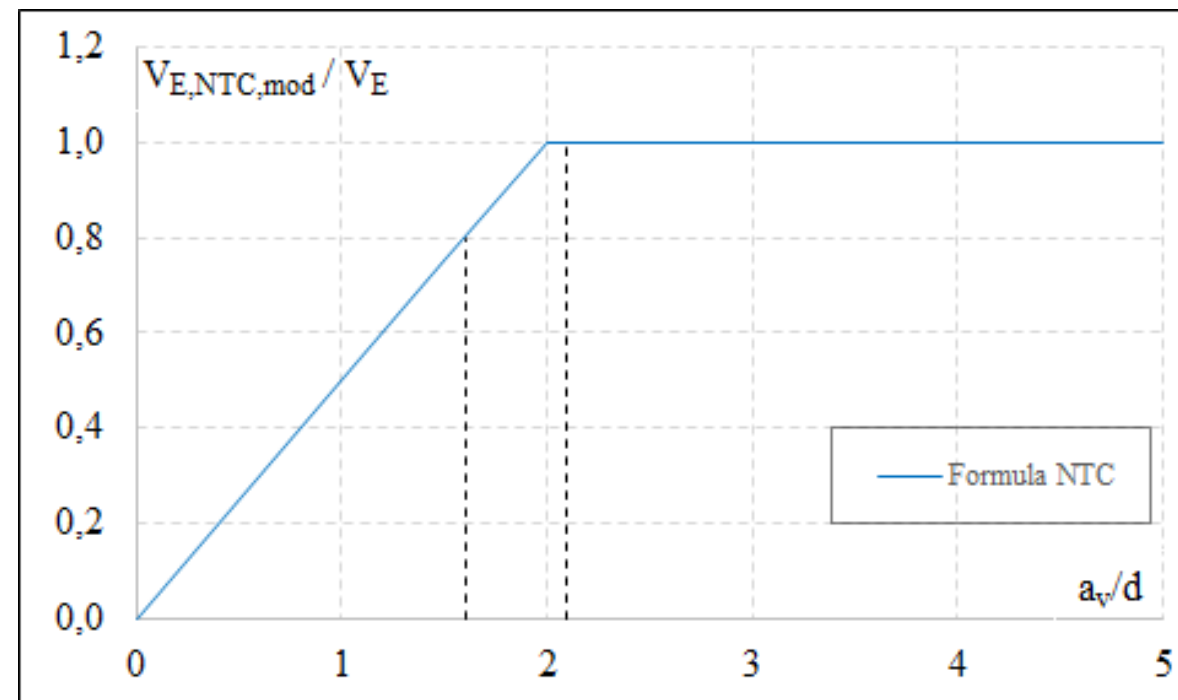
Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – La proposta normativa - 2

Le attuali NTC prendono in considerazione il comportamento fisico delle sezioni in c.a soggette a taglio causato da carichi prossimi agli appoggi prevedendo che nelle verifiche si adotti, al posto dell'effettivo valore del taglio sollecitante V_{Ed} , un valore modificato pari a

$V_{Ed,NTC,mod} = V_{Ed} \times a_v / (2 \times d)$ se risulta $a_v / d \leq 2$ (NTC 2018, § 4.1.2.3.5.3).

In altri termini, si tiene conto della sottostima della capacità a taglio della formulazione normativa (NTC 2018, § 4.1.2.3.5.1) per carichi prossimi agli appoggi riducendo la corrispondente domanda.

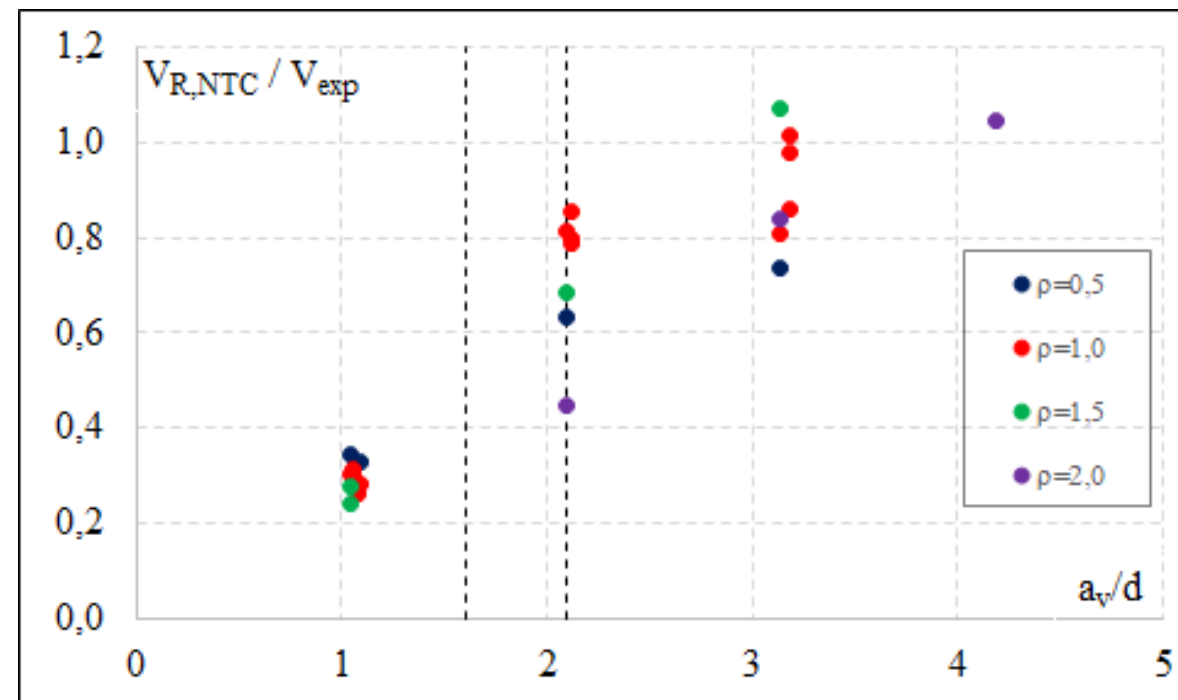


Per le solette da ponte ($a_v / d \approx 2$) la riduzione prevista dalle NTC è però molto modesta.

Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – La proposta normativa - 3

La sperimentazione effettuata ha permesso di valutare quantitativamente la sottostima della capacità a taglio della formulazione predittiva delle NTC nei moltissimi casi presi in considerazione.



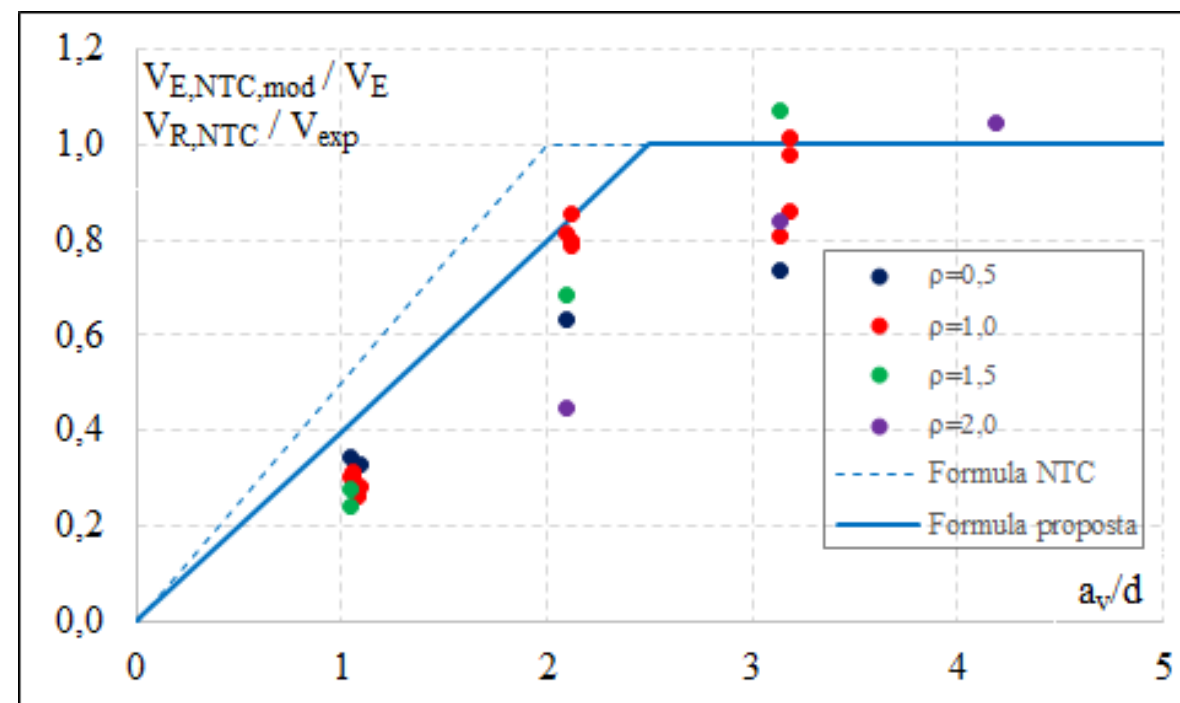
Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – La proposta normativa - 4

Sovrapponendo i due grafici mostrati in precedenza, si osserva che è possibile, per le verifiche a taglio delle solette dei ponti esistenti, modificare la previsione normativa per i carichi posti in prossimità degli appoggi.

Tale modifica:

- conserva come **unico riferimento normativo** le NTC;
- **interpreta meglio** il comportamento sperimentale osservato;
- fornisce una ulteriore riduzione degli effetti delle azioni (o, alternatively, un aumento della capacità) che **consente alle solette esistenti**, nei casi esaminati, **di «superare» le verifiche a taglio**.



Task 4.6 “Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.”

Comportamento a taglio delle **solette da ponte** – **La proposta normativa - 5**

Pertanto si propone di sostituire, al punto 6.3.5.2 delle LG, il paragrafo:

In particolare per la verifica a taglio negli elementi in cemento armato poco armati o non armati, in alternativa alle formule delle NTC, è consentito l’uso della seguente espressione:

$$V_{rd} = \frac{0.3 \sqrt{f_{ck}} b_w d}{\gamma_c (1 + 0.0022 d)} V_{Rd}$$

dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

Tale formulazione è una semplificazione conservativa delle SIA 262.

con il testo seguente:

In particolare, per la verifica a taglio negli elementi in cemento armato il taglio resistente può essere valutato come indicato al § 4.1.2.3.5.1 delle NTC, mentre il taglio sollecitante determinato da carichi applicati alla distanza a_v dalla sezione di appoggio può essere ridotto della quantità $a_v / (2,5 \times d)$ se risulta $a_v / d \leq 2,5$.

Convegno Finale

La sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti

**Accordo tra il CSLLPP ed il Consorzio ReLUIS
attuativo dei DM 578/2020 - DM 204/2022 - DM 304/2024**

**WP4: Sperimentazione su componenti strutturali e/o speciali
Task 4.6 Solette da ponte e sezioni circolari in c.a.**

Modelli di capacità a taglio per le sezioni circolari in c.a.

**Prof. ing. Giuseppe Maddaloni
Università degli Studi del Sannio**

**Con il contributo delle unità
di ricerca:**



**Giuseppe Maddaloni
Ciro Del Vecchio**



**Edoardo Cosenza
Marisa Pecce**

Roma, 19-20-21 novembre 2025

LL.GG. 2022: 6.3.5.2 Problemi di verifica locale

Talune volte le formule previste dalle Norme Tecniche per le verifiche locali, ad esempio per la verifica a taglio delle solette di c.a., sembrano eccessivamente cautelative. Tale cautela è un problema marginale per la nuova progettazione, mentre diventa importantissima per le costruzioni esistenti in quanto può costringere ad interventi tecnicamente molto invasivi ed economicamente molto costosi, senza in realtà essere davvero necessari.

LL.GG. 2022: 6.3.5.2 Problemi di verifica locale

Talune volte le formule previste dalle Norme Tecniche per le verifiche locali, ad esempio per la verifica a taglio delle solette di c.a., sembrano eccessivamente cautelative. Tale cautela è un problema marginale per la nuova progettazione, mentre diventa importantissima per le costruzioni esistenti in quanto può costringere ad interventi tecnicamente molto invasivi ed economicamente molto costosi, senza in realtà essere davvero necessari.

**Verifica a taglio di elementi
esistenti in c.a.**

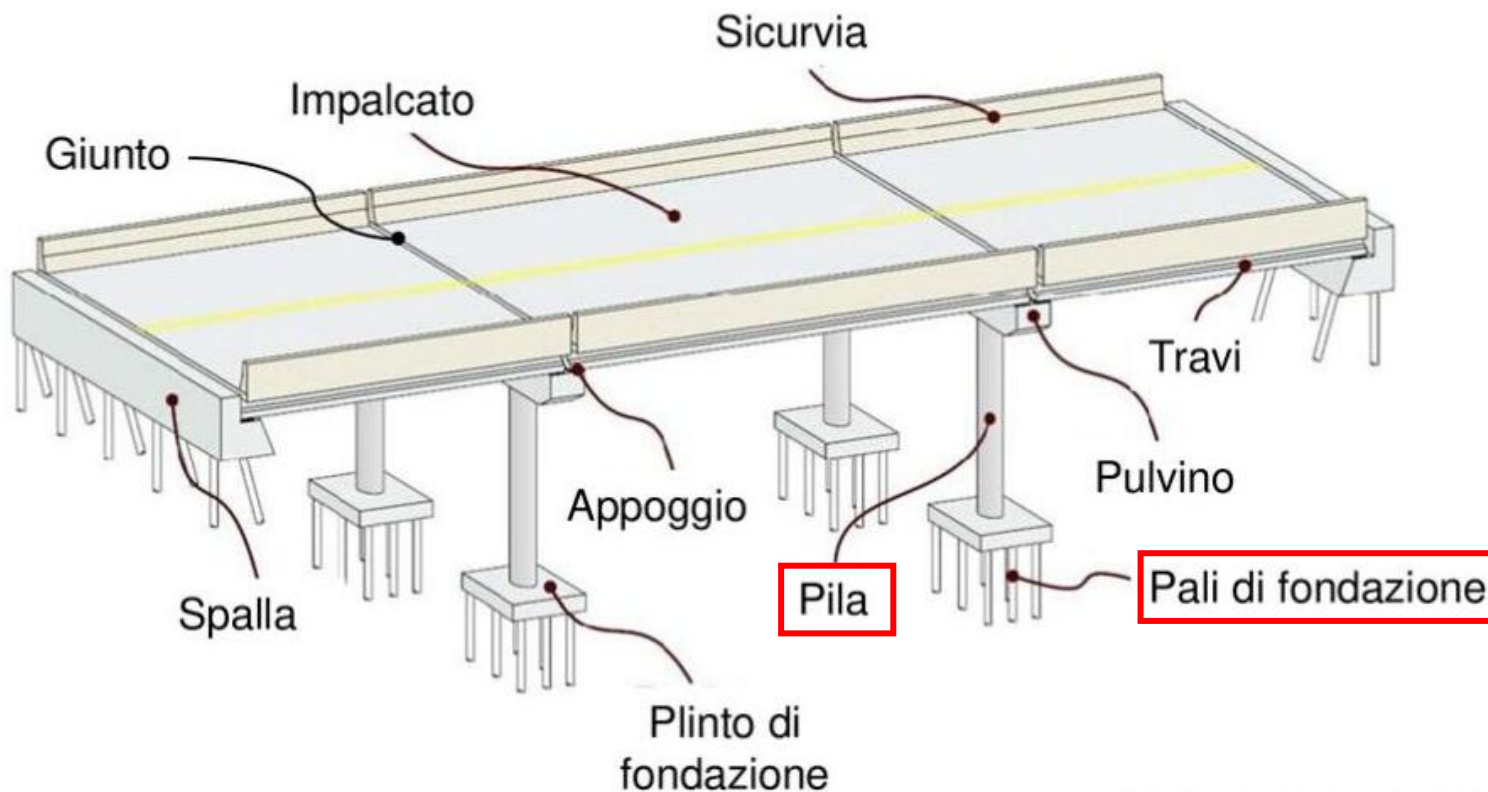
**Formule eccessivamente
cautelative**

**Non idonee ad essere applicate ad
elementi con sezione circolare**

LL.GG. 2022: 6.3.5.2 Problemi di verifica locale

Talune volte le formule previste dalle Norme Tecniche per le verifiche locali, ad esempio per la verifica a taglio delle solette di c.a., sembrano eccessivamente cautelative. Tale cautela è un problema marginale per la nuova progettazione, mentre diventa importantissima per le costruzioni esistenti in quanto può costringere ad interventi tecnicamente molto invasivi ed economicamente molto costosi, senza in realtà essere davvero necessari.

Elementi a sezione circolare



LL.GG. 2022: 6.3.5.2 Problemi di verifica locale

Talune volte le formule previste dalle Norme Tecniche per le verifiche locali, ad esempio per la verifica a taglio delle solette di c.a., sembrano eccessivamente cautelative. Tale cautela è un problema marginale per la nuova progettazione, mentre diventa importantissima per le costruzioni esistenti in quanto può costringere ad interventi tecnicamente molto invasivi ed economicamente molto costosi, senza in realtà essere davvero necessari.

NTC 2018: 4.1.2.3.5.2 Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza di progetto a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

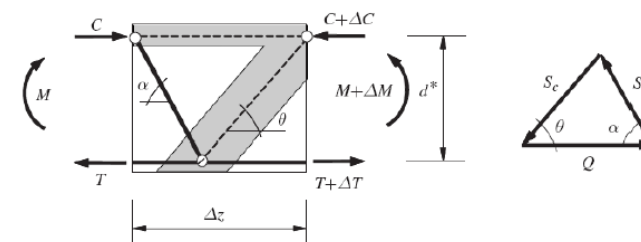
$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

La resistenza di progetto a taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad [4.1.29]$$



**TRALICCIO AD
INCLINAZIONE
VARIABILE**

CIRCOLARE n.7 2019 **C8.7.2** COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO ARMATO O DI ACCIAIO

C8.7.2.3.5 Travi e pilastri: taglio

La resistenza a taglio V_R in condizioni cicliche, quali quelle sismiche, può essere valutata sulla base dei tre contributi dovuti all'entità dello sforzo normale N , al calcestruzzo e all'acciaio, nonché dell'interazione con la rotazione flessionale dell'elemento in funzione della parte plastica della domanda di duttilità, $\mu_{\Delta,pl}$.

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0.55A_c f_c) + \left(1 - 0.05 \min(0.5; \mu_{\Delta,pl}) \right) \left[0.16 \max(0.5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0.16 \min\left(5; \frac{L_V}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_W \right] \right] \quad [C8.7.2.8]$$

– per le sezioni circolari:

$$V_W = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sx}}{s} f_{yw} (D - 2c)$$

**Adattato dal
modello di Biskinis
& Fardis (2004)**

CIRCOLARE n.7 2019 **C8.7.2 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO ARMATO O DI ACCIAIO**

**Adattato dal
modello di Biskinis
& Fardis (2004)**

C8.7.2.3.5 Travi e pilastri: taglio

La resistenza a taglio V_R in condizioni cicliche, quali quelle sismiche, può essere valutata sulla base dei tre contributi dovuti all'entità dello sforzo normale N , al calcestruzzo e all'acciaio, nonché dell'interazione con la rotazione flessionale dell'elemento in funzione della parte plastica della domanda di duttilità, $\mu_{\Delta,pl}$.

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_v} \min(N; 0.55A_c f_c) + \left(1 - 0.05 \min(0.5; \mu_{\Delta,pl}) \right) \left[0.16 \max(0.5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0.16 \min\left(5; \frac{L_v}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \right] \quad [C8.7.2.8]$$

– per le sezioni circolari:

$$V_w = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sx}}{s} f_{yw} (D - 2c)$$

C8.8 INDICAZIONI AGGIUNTIVERELATIVE AI PONTI ESISTENTI

C8.8.5.5 VERIFICA DEI MECCANISMI FRAGILI

Il valore di verifica della domanda per sollecitazione di taglio è:

- quello fornito dall'analisi, se a entrambe le estremità dell'elemento la distorsione non supera il valore di snervamento (l'elemento è elastico);
- quello equilibrato dai momenti di estremità, limitati al loro valore di snervamento quando risulta $\theta > \theta_y$ per una o entrambe le estremità.

La capacità resistente a taglio deve essere valutata in accordo a modelli di comprovata validità. Ad esempio, può essere la formula seguente che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8 A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z \quad [C8.8.5.5]$$

**Modello di Kowalsky
& Priestley (2000)**

*specifico per elementi
a sezione circolare*

CIRCOLARE n.7 2019: C8.7.2 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO ARMATO O DI ACCIAIO

C8.7.2.3.5 Travi e pilastri: taglio

La resistenza a taglio V_R in condizioni cicliche, quali qu all'entità dello sforzo normale N , al calcestruzzo e all'accia funzione della parte plastica della domanda di duttilità, μ_{Δ}

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_v} \min(N; 0.55A_c f_c) + (1 - 0.05 \min(0.5; \mu_{\Delta, pl})) \right]$$

**RESISTENZA
DEGRADANTE CON
LA DUTTILITA'**

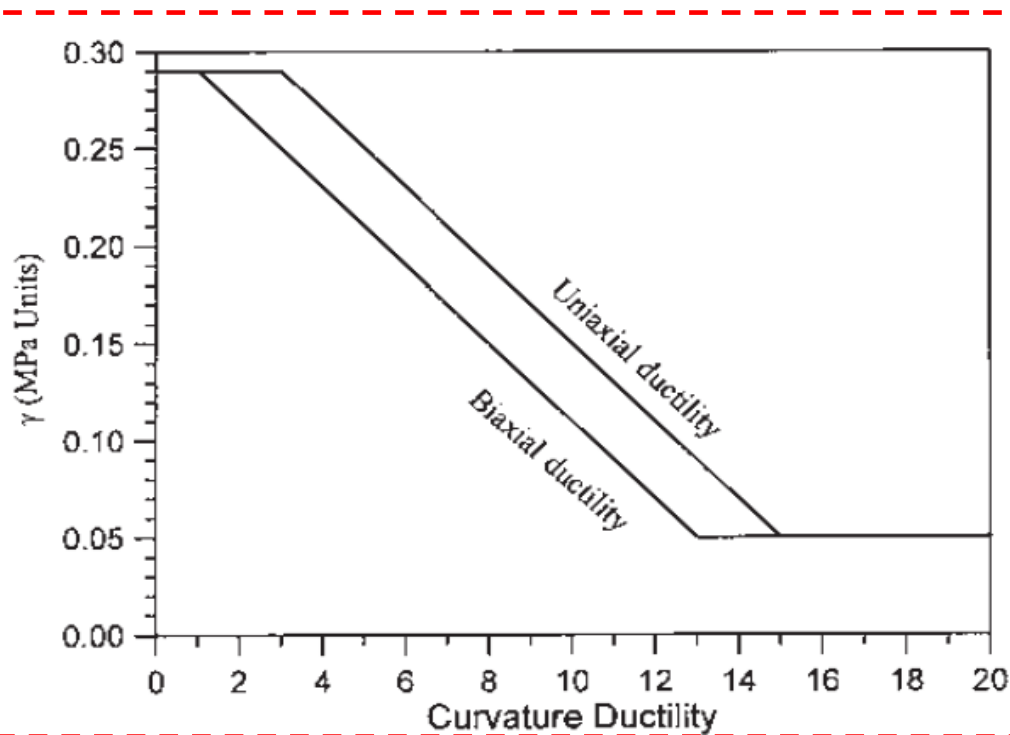
VERELATI

il valore di verifica della domanda per sollecitazione di ta

- quello fornito dall'analisi, se a entrambe le estre
- (l'elemento è elastico);
- quello equilibrato dai momenti di estremità, lim
- entrambe le estremità.

La capacità resistente a taglio deve essere valutata in accordo a modelli di comprovata validità. Ad esempio, può essere la formula seguente che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z \quad [C8.8.5.5]$$



**Adattato dal
modello di Biskinis
& Fardis (2004)**

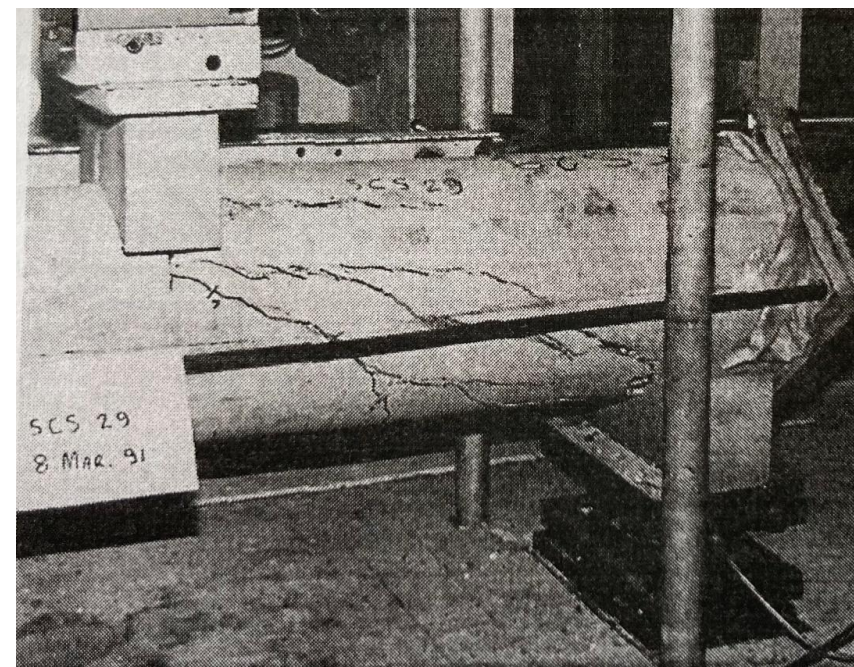
**Modello di Kowalsky
& Priestley (2000)**

**specifico per
elementi a sezione
circolare**

Costruzione di un database di prove sperimentali su elementi in c.a. a sezione circolare con crisi a taglio

Test n.	Author	Test ID	L_s	D	L_s/D	c	f_{cm}	f_{yl}	ρ_{tot}	f_{yw}	S_h	ρ_w	N	V_{exp}
[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[-]	[kN]	[kN]
1		M1/2	310.1	152.0	2.04	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	45.0
2		M1/3	329.8	152.0	2.17	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	46.0
3		M1/4	340.5	152.0	2.24	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	38.0

- Prove da 24 autori differenti (1979-2007)

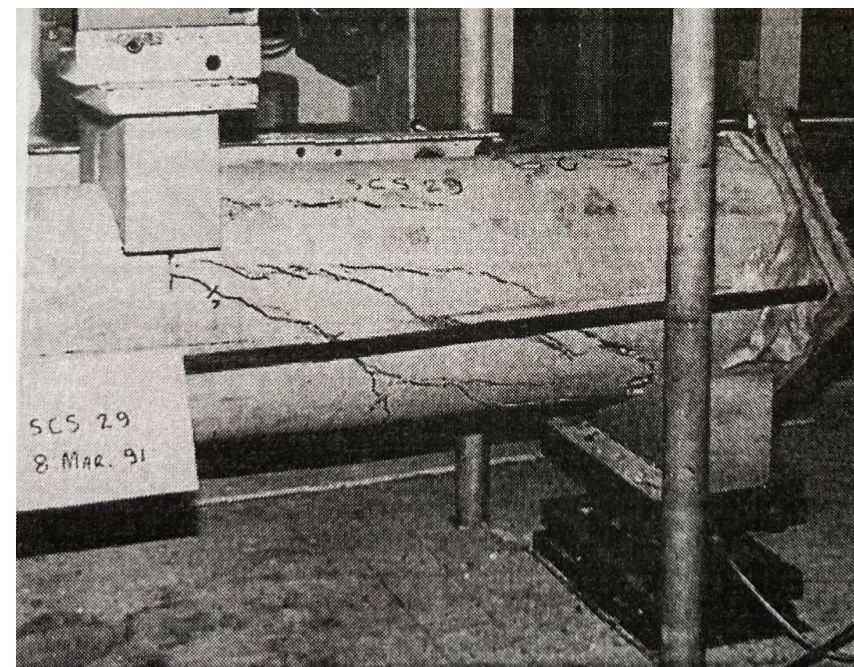


Clarke & Birjandi 1993, test 37

Costruzione di un database di prove sperimentali su elementi in c.a. a sezione circolare con crisi a taglio

Test n.	Author	Test ID	L_s	D	L_s/D	c	f_{cm}	f_{yl}	ρ_{tot}	f_{yw}	S_h	ρ_w	N	V_{exp}
[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[-]	[kN]	[kN]
1		M1/2	310.1	152.0	2.04	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	45.0
2		M1/3	329.8	152.0	2.17	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	46.0
3		M1/4	340.5	152.0	2.24	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	38.0

- Prove da 24 autori differenti
(1979-2007, **oltre il 2007 non ci sono prove**)

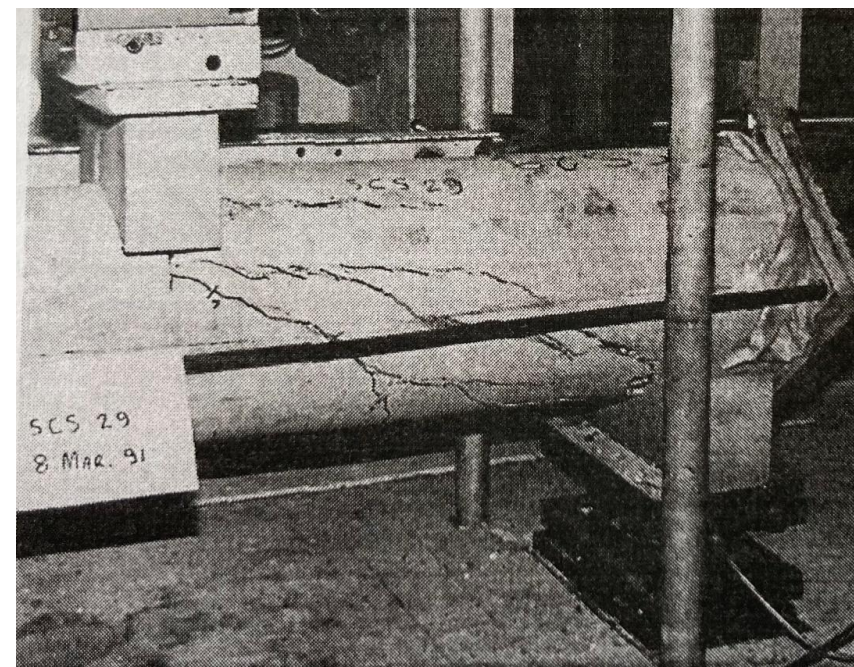


Clarke & Birjandi 1993, test 37

Costruzione di un database di prove sperimentali su elementi in c.a. a sezione circolare con crisi a taglio

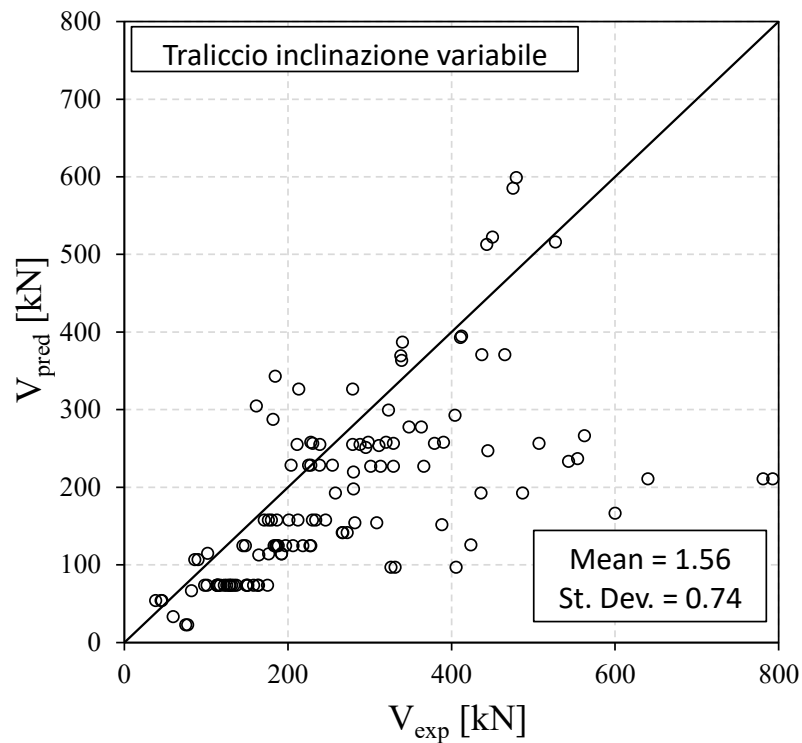
Test n.	Author	Test ID	L_s	D	L_s/D	c	f_{cm}	f_{yl}	ρ_{tot}	f_{yw}	S_h	ρ_w	N	V_{exp}
[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[-]	[kN]	[kN]
1		M1/2	310.1	152.0	2.04	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	45.0
2		M1/3	329.8	152.0	2.17	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	46.0
3		M1/4	340.5	152.0	2.24	10	28.0	500.0	0.022	300.0	100	0.0037	0.0	38.0

- Prove da 24 autori differenti
(1979-2007, **oltre il 2007 non ci sono prove**)
- 130 test con crisi a taglio
- Diametro da 150 a 610 mm
- L_s/D da 1,0 a 3,8
- f_{cm} da 13 MPa a 57 MPa
- N da 0 a 4300 kN
- ρ_l da 0.5% a 5,6%
- ρ_w da 0% a 1,5%



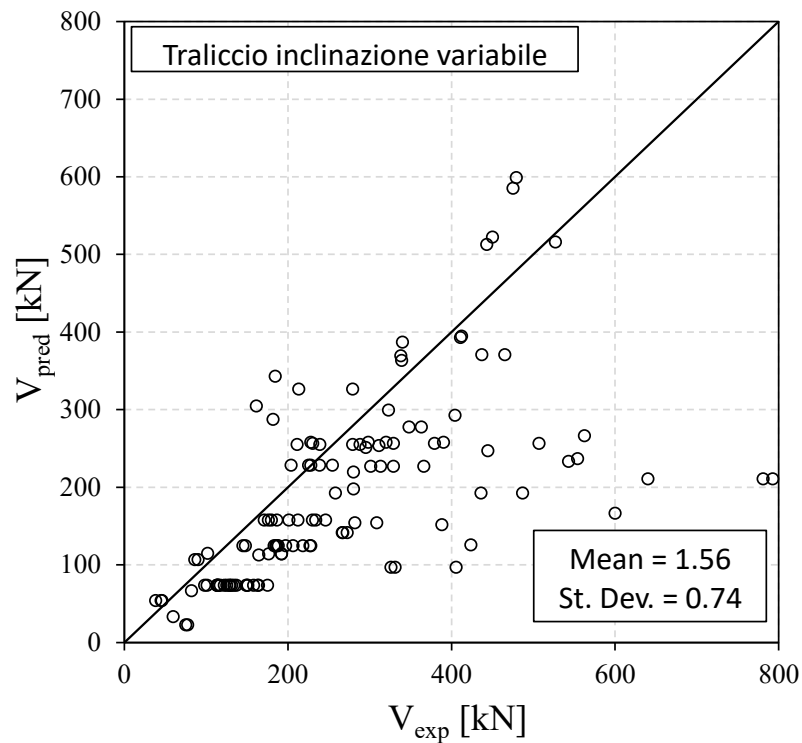
Clarke & Birjandi 1993, test 37

NTC 2018



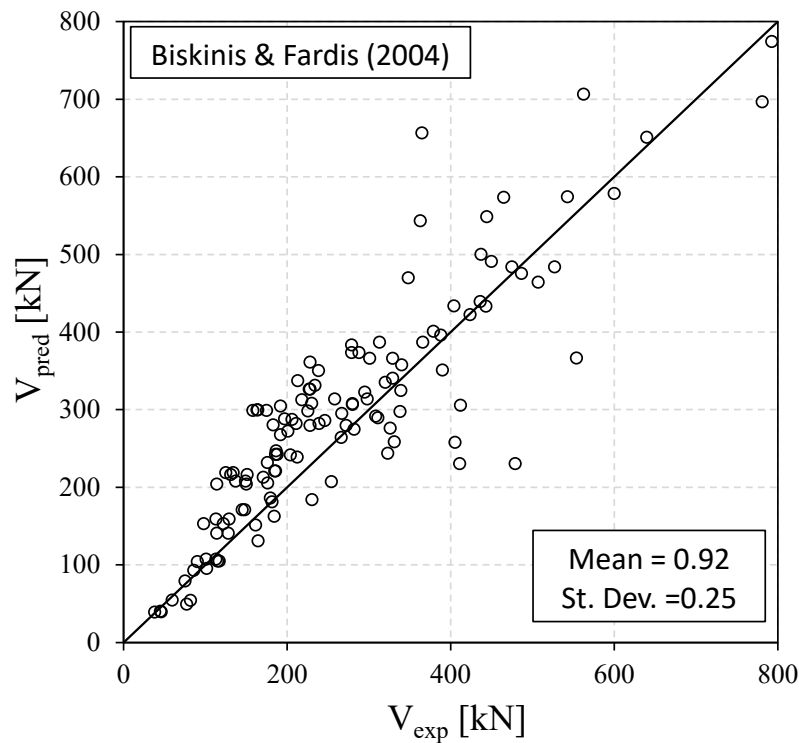
**Poco accurato e
sottostima molto la
capacità a taglio**

NTC 2018

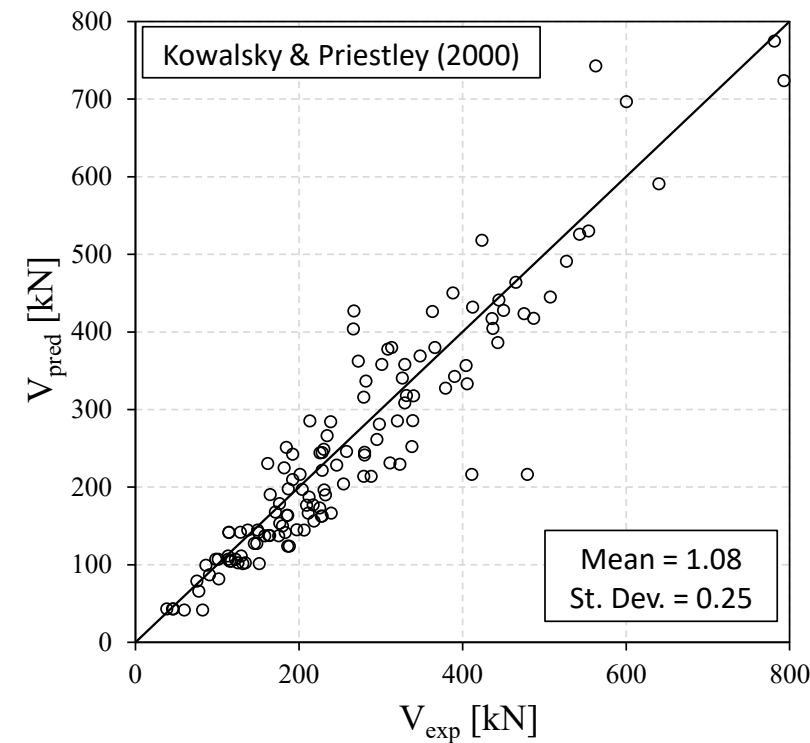


Poco accurato e sottostima molto la capacità a taglio

CIRCOLARE n.7 2019, C8.7



CIRCOLARE n.7 2019, C8.8



Accurati ma di complessa applicazione per via della dipendenza dalla domanda inelastica

MATRICE DI PROVA

#	Reference	D [mm]	a/D [-]	cov [mm]	r [mm]	f _{cm} [MPa]	n. long. bars [-]	φ _l [mm]	A _{sl} [mm ²]	ρ _l [%]	f _{yl} [MPa]	φ _s [mm ²]	s [mm]	A _{sw} [mm ²]	ρ _w [%]	f _{yw} [MPa]	N [kN]
1	s300_2%_LC	400	2.75	40	360	14.1	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
2	s300_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
3	s300_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	200
4	s300_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	400
5	s150_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	50
6	s150_8%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	200
7	s150_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	400
8	s75_2%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	50
9	s75_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	200
10	s75_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	400
11	s50_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	50	57	0.283	527	400

MATRICE DI PROVA

#	Reference	D [mm]	a/D [-]	cov [mm]	r [mm]	f _{cm} [MPa]	n. long. bars [-]	φ _l [mm]	A _{sl} [mm ²]	ρ _l [%]	f _{yl} [MPa]	φ _s [mm ²]	s [mm]	A _{sw} [mm ²]	ρ _w [%]	f _{yw} [MPa]	N [kN]
1	s300_2%_LC	400	2.75	40	360	14.1	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
2	s300_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
3	s300_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	200
4	s300_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	400
5	s150_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	50
6	s150_8%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	200
7	s150_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	400
8	s75_2%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	50
9	s75_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	200
10	s75_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	400
11	s50_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	50	57	0.283	527	400

nomenclatura sXXX_Y%_XX

MATRICE DI PROVA

#	Reference	D [mm]	a/D [-]	cov [mm]	r [mm]	f _{cm} [MPa]	n. long. bars [-]	φ _l [mm]	A _{sl} [mm ²]	ρ _l [%]	f _{yl} [MPa]	φ _s [mm ²]	s [mm]	A _{sw} [mm ²]	ρ _w [%]	f _{yw} [MPa]	N [kN]
1	s300_2%_LC	400	2.75	40	360	14.1	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
2	s300_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
3	s300_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	200
4	s300_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	400
5	s150_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	50
6	s150_8%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	200
7	s150_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	400
8	s75_2%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	50
9	s75_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	200
10	s75_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	400
11	s50_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	50	57	0.283	527	400

nomenclatura sXXX_Y%_XX

Passo delle staffe 50-300 mm

MATRICE DI PROVA

#	Reference	D [mm]	a/D [-]	cov [mm]	r [mm]	f _{cm} [MPa]	n. long. bars [-]	φ _l [mm]	A _{sl} [mm ²]	ρ _l [%]	f _{yl} [MPa]	φ _s [mm ²]	s [mm]	A _{sw} [mm ²]	ρ _w [%]	f _{yw} [MPa]	N [kN]
1	s300_2%_LC	400	2.75	40	360	14.1	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
2	s300_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
3	s300_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	200
4	s300_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	400
5	s150_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	50
6	s150_8%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	200
7	s150_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	400
8	s75_2%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	50
9	s75_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	200
10	s75_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	400
11	s50_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	50	57	0.283	527	400

nomenclatura sXXX_Y%_XX

Passo delle staffe 50-300 mm

Sforzo normale adimensionalizzato
(2%-16%, 50 kN - 400 kN)

MATRICE DI PROVA

#	Reference	D [mm]	a/D [-]	cov [mm]	r [mm]	f _{cm} [MPa]	n. long. bars [-]	φ _l [mm]	A _{sl} [mm ²]	ρ _l [%]	f _{yl} [MPa]	φ _s [mm ²]	s [mm]	A _{sw} [mm ²]	ρ _w [%]	f _{yw} [MPa]	N [kN]
1	s300_2%_LC	400	2.75	40	360	14.1	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
2	s300_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	50
3	s300_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	200
4	s300_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	300	57	0.047	527	400
5	s150_2%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	50
6	s150_8%_OC	400	2.75	40	360	23.4	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	200
7	s150_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	150	57	0.094	527	400
8	s75_2%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	50
9	s75_8%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	200
10	s75_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	75	57	0.188	527	400
11	s50_16%_OC	400	2.75	40	360	17.3	10	12	1131	0.900	537	6	50	57	0.283	527	400

nomenclatura

sXXX Y% XX

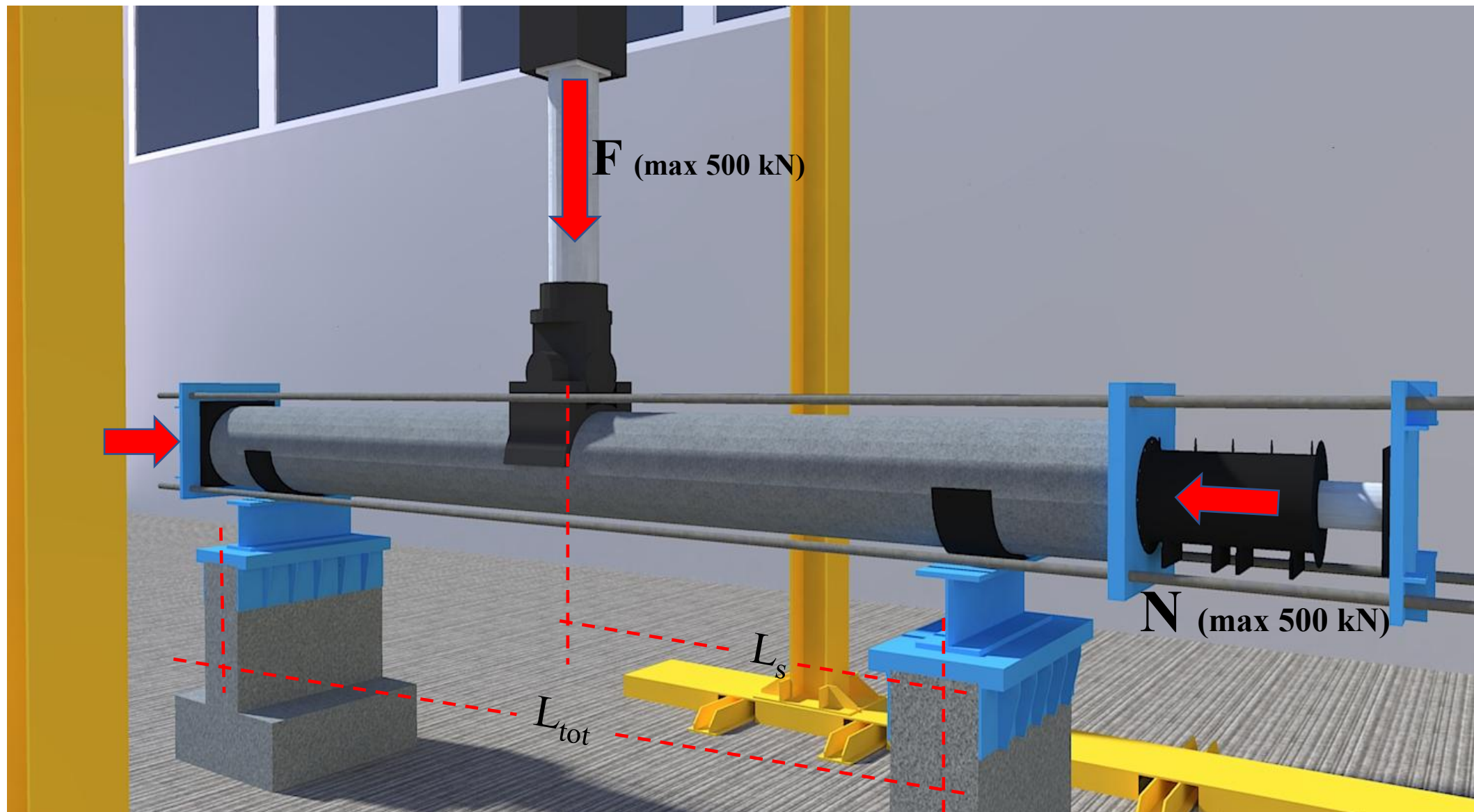
Resistenza calcestruzzo:
LC (Bassa resistenza)
OC (resistenza ordinaria)

Passo delle staffe 50-300 mm

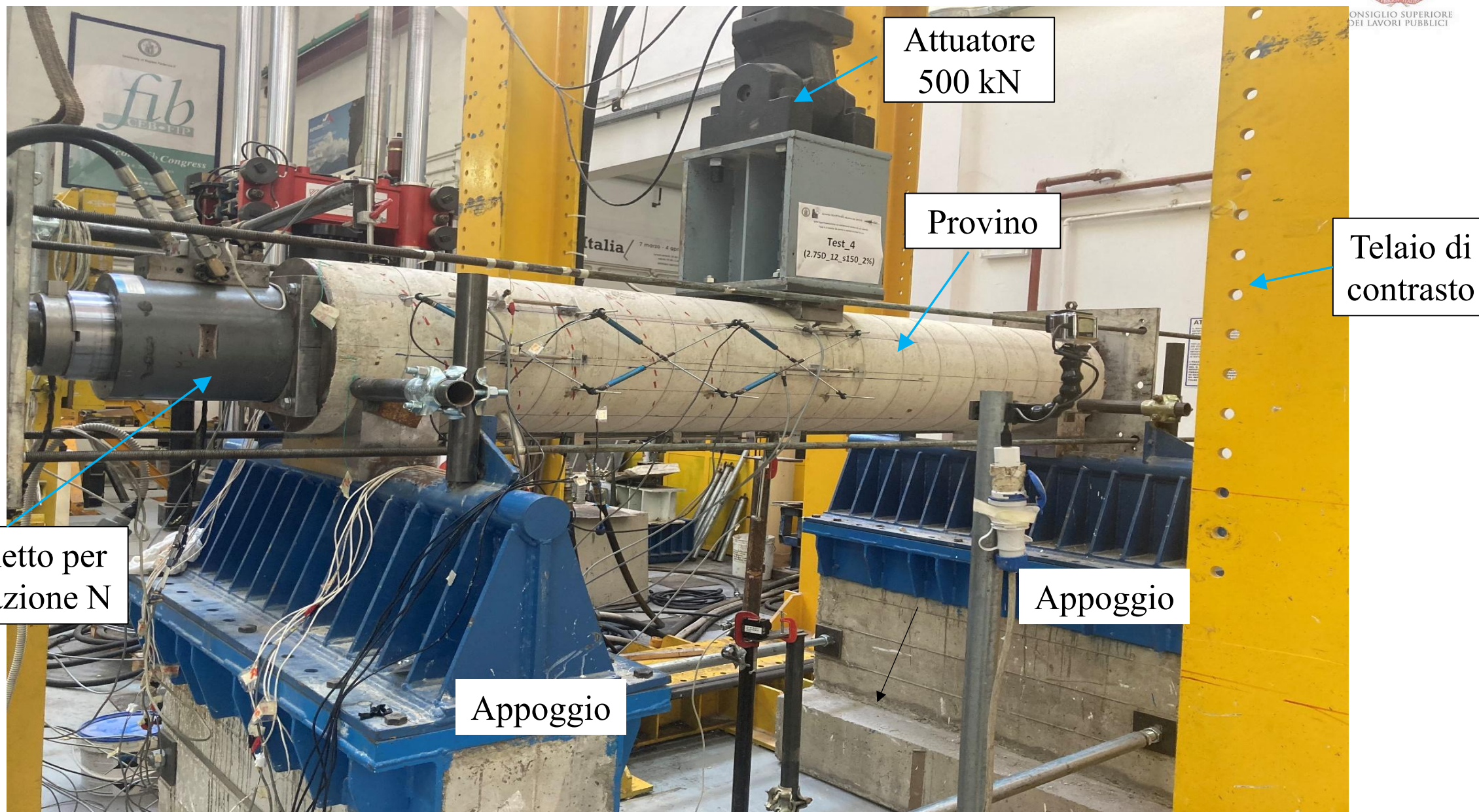
Sforzo normale adimensionalizzato
(2%-16%, 50 kN - 400 kN)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II - DIPARTIMENTO DI
STRUTTURE PER L'INGEGNERIA
E L'ARCHITETTURA



SETUP DI PROVA



Provino s300_2%_LC

Acciaio B450C

$f_{cm} = 14.1 \text{ MPa}$

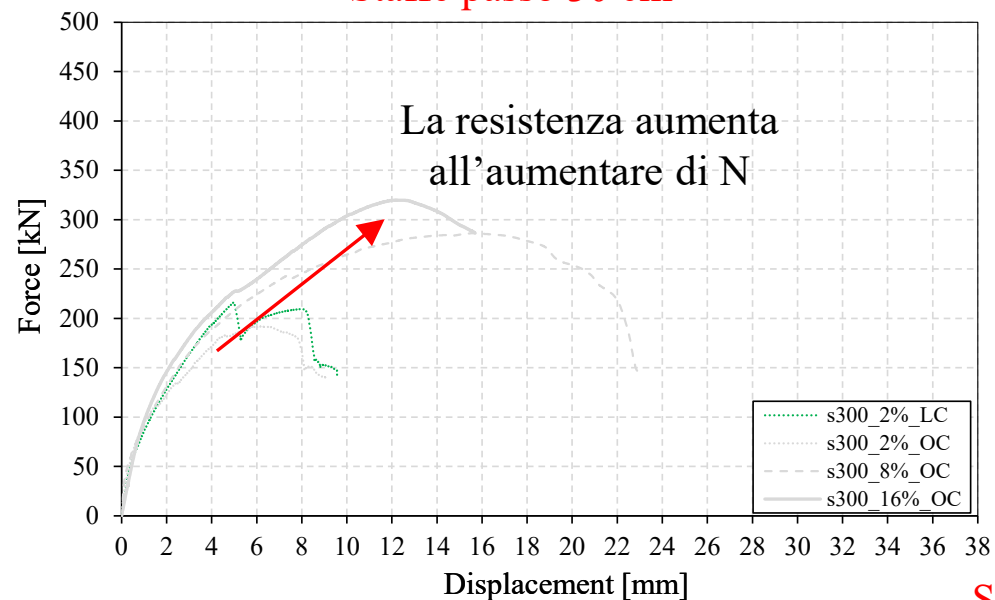
$\rho_l = 0.9\%$

$\rho_w = 0.047\%$

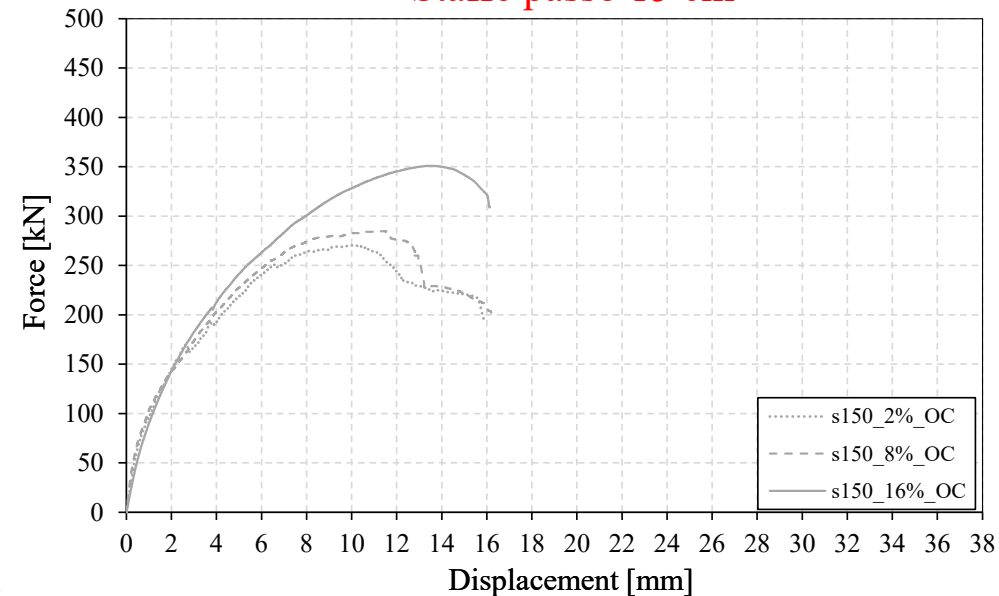
$v = 2\%$



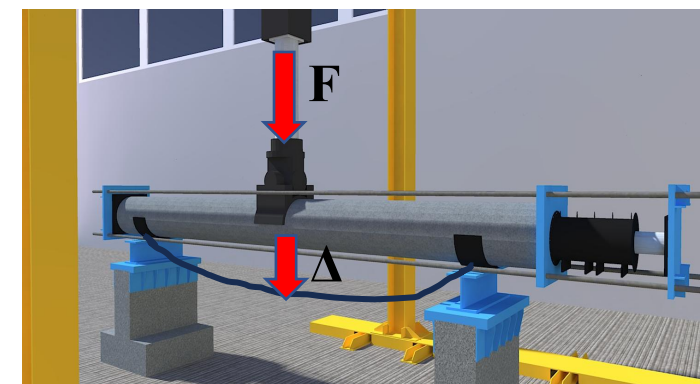
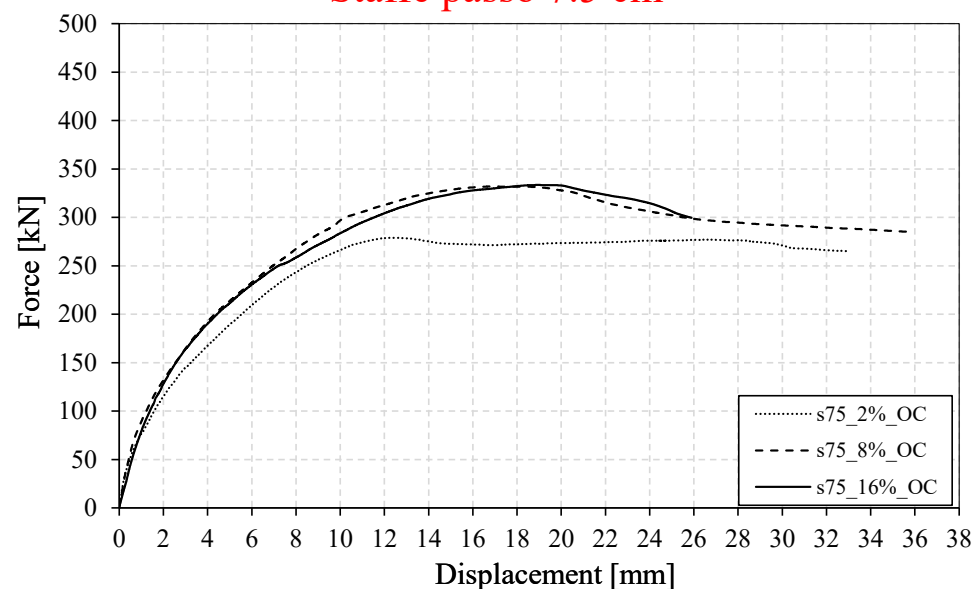
Staffe passo 30 cm



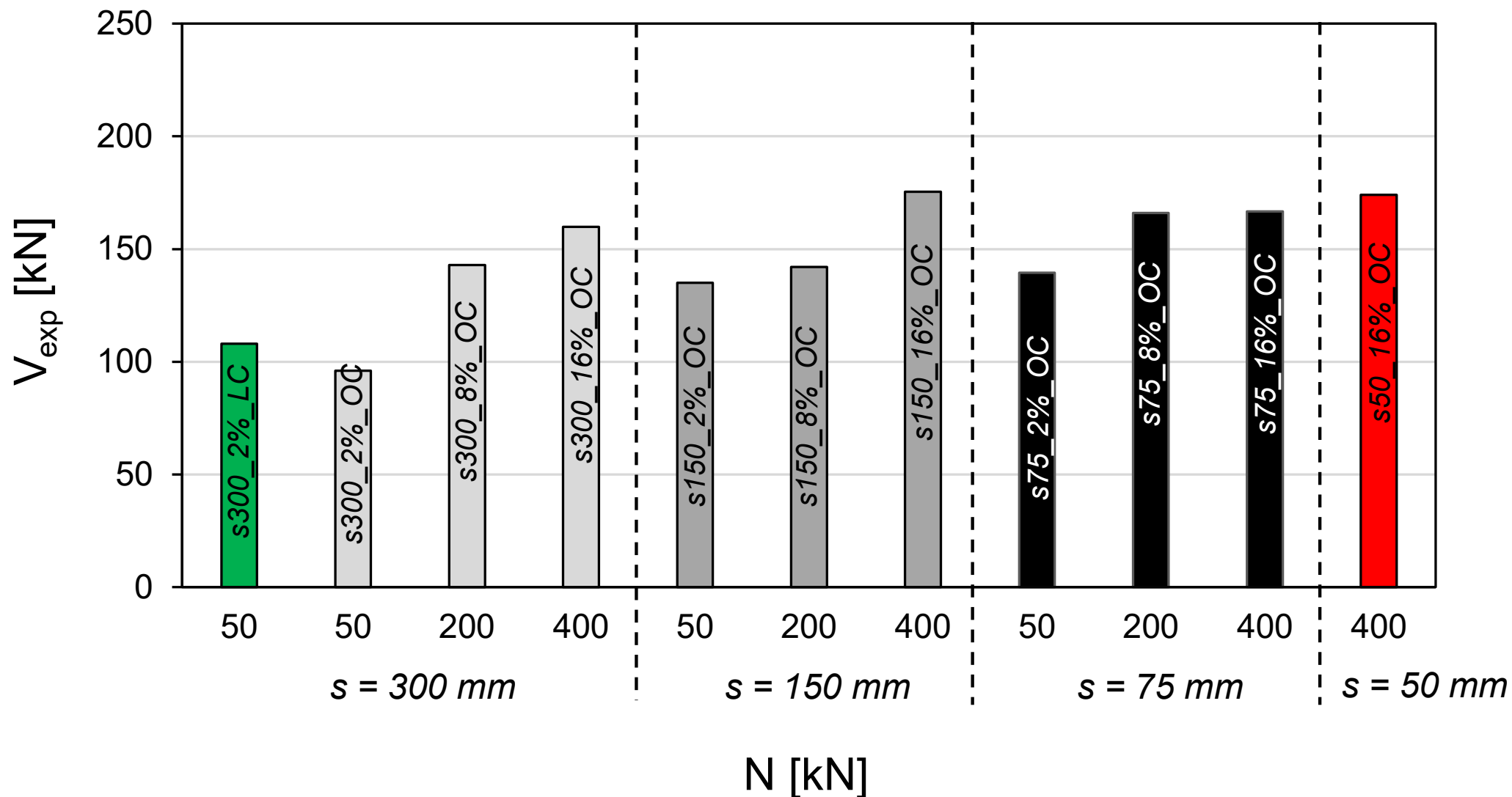
Staffe passo 15 cm



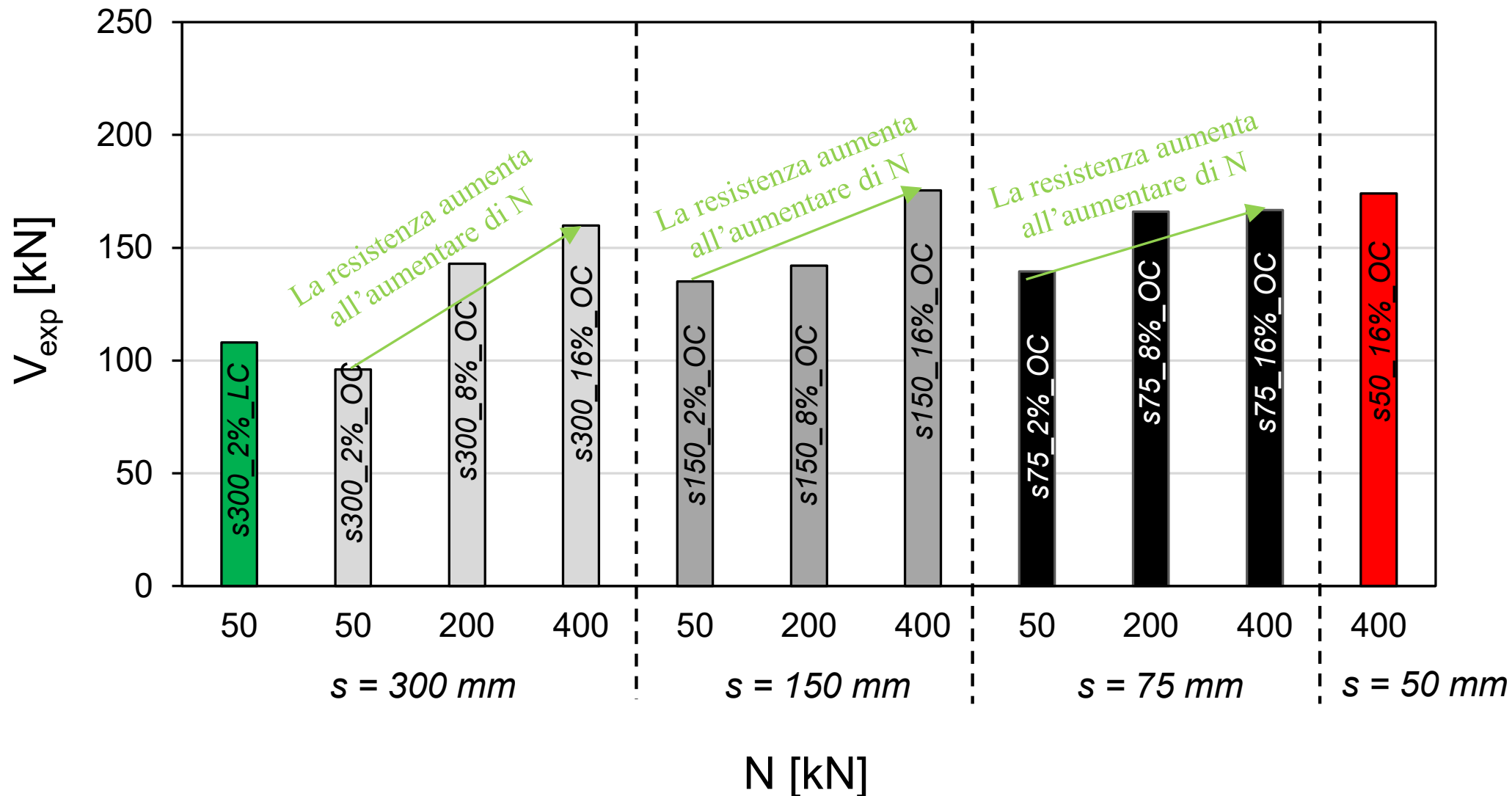
Staffe passo 7.5 cm



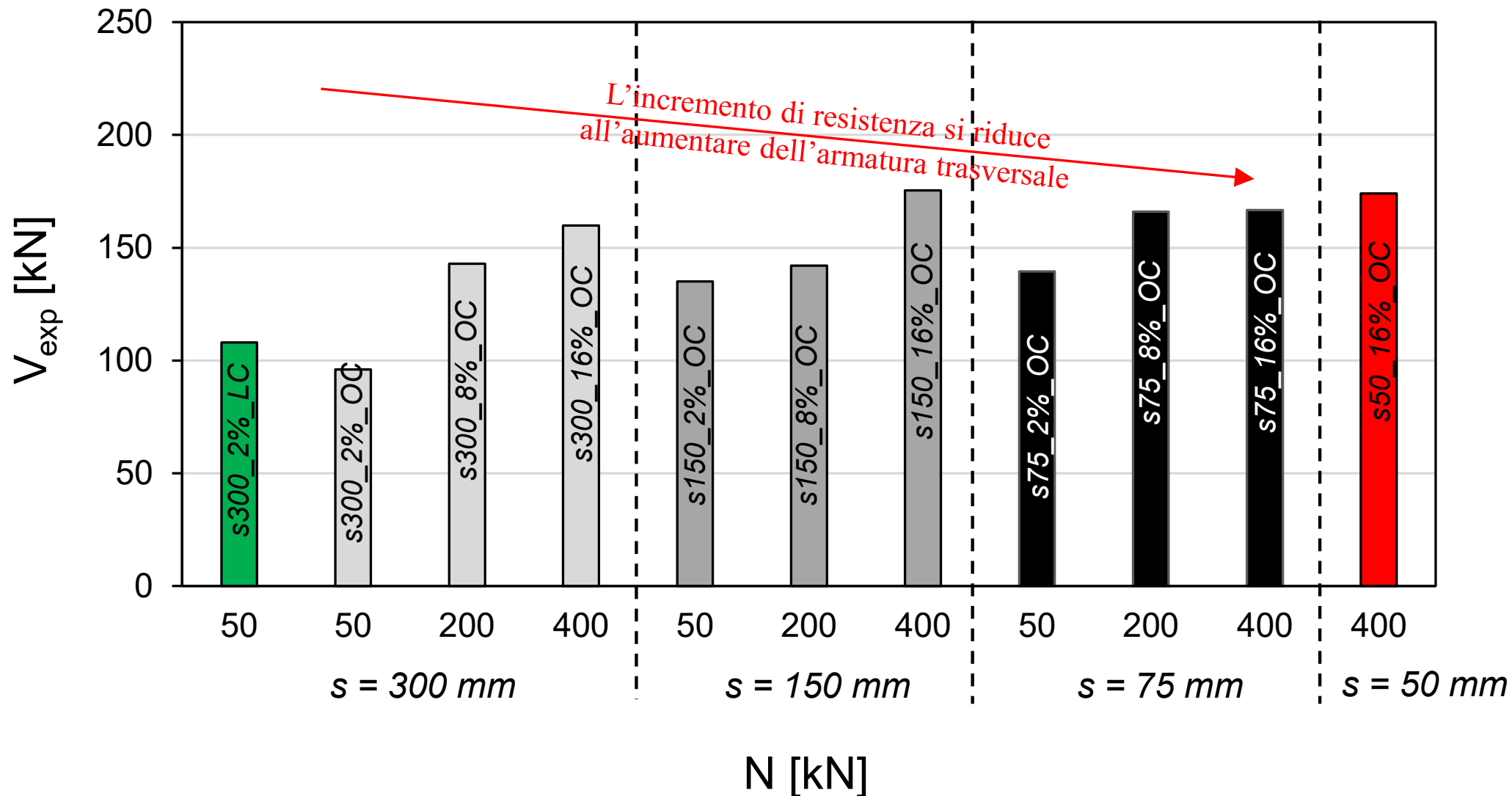
V_{exp} vs axial load



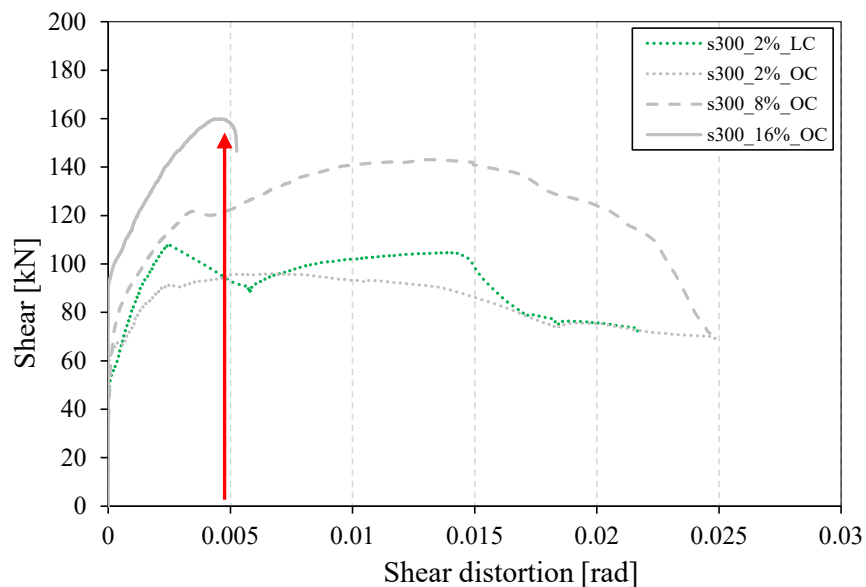
V_{exp} vs axial load



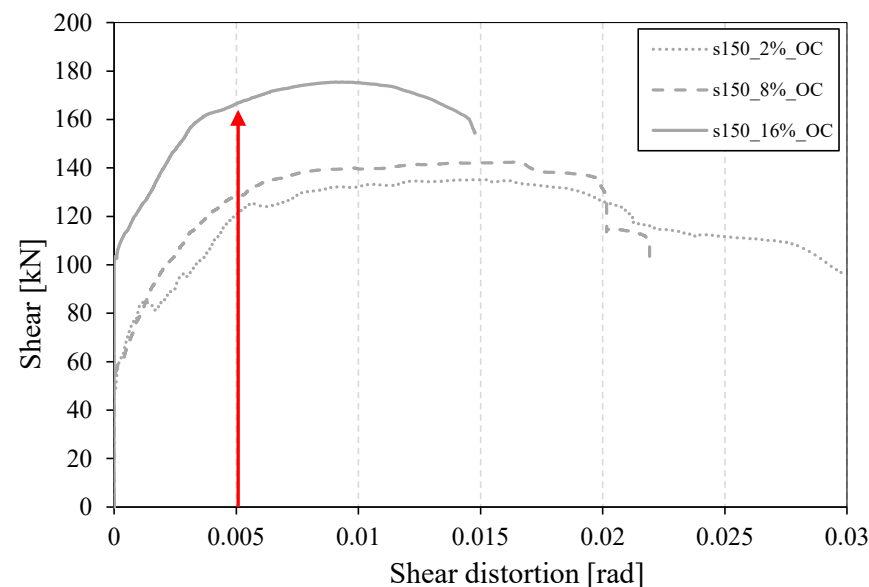
V_{exp} vs axial load



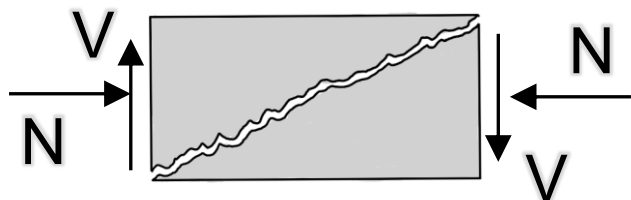
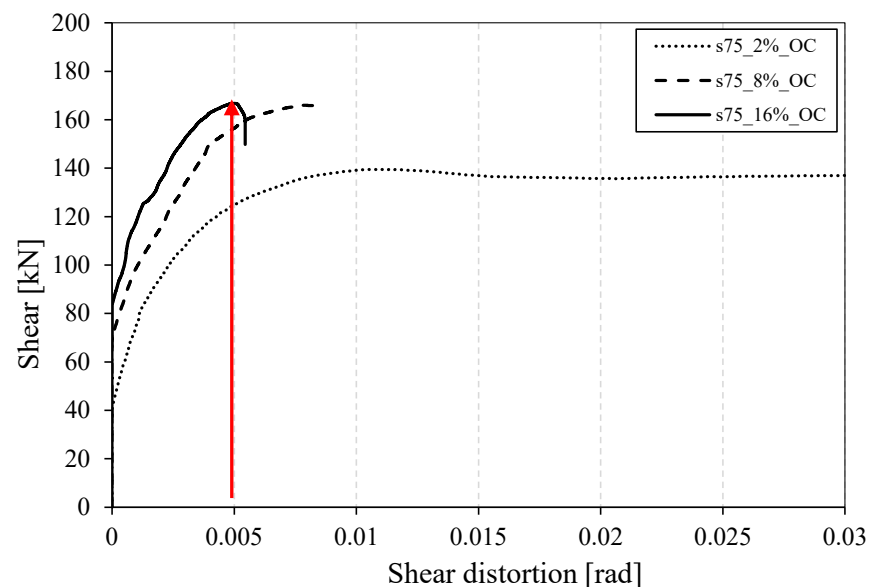
Staffe passo 30 cm



Staffe passo 15 cm

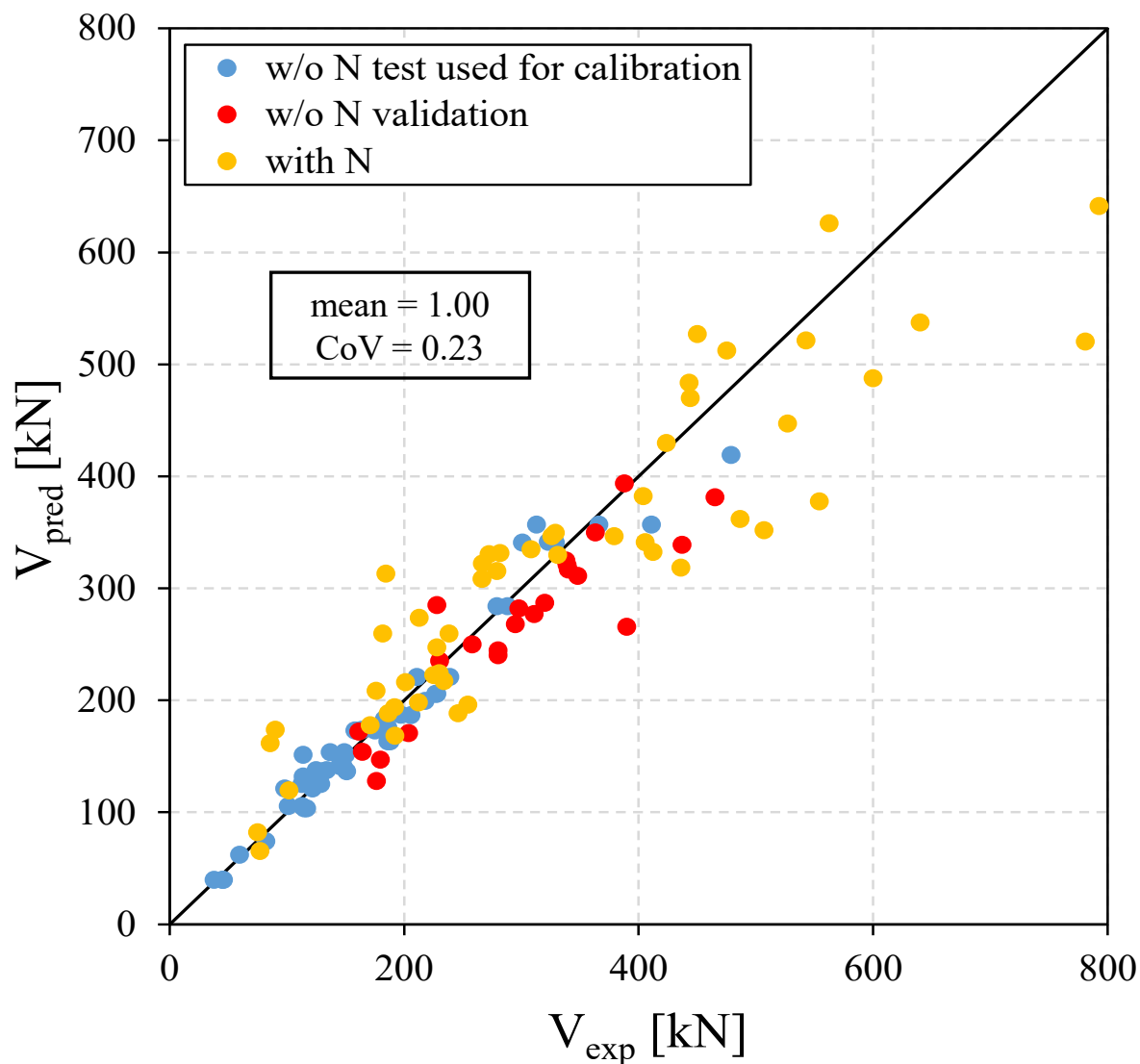


Staffe passo 7.5 cm



Lo sforzo normale va a chiudere la fessura e alla stessa deformazione tagliante si hanno forze maggiori

Cosenza et al (2019) modificata con coefficiente ricavato da best fitting su prove con N



Attuale formula per la valutazione della resistenza a taglio di sezioni circolari:

$$V_R^{sr} = V_{Rd}^{wsr} \cdot (1 + 238 \cdot \rho_w)$$

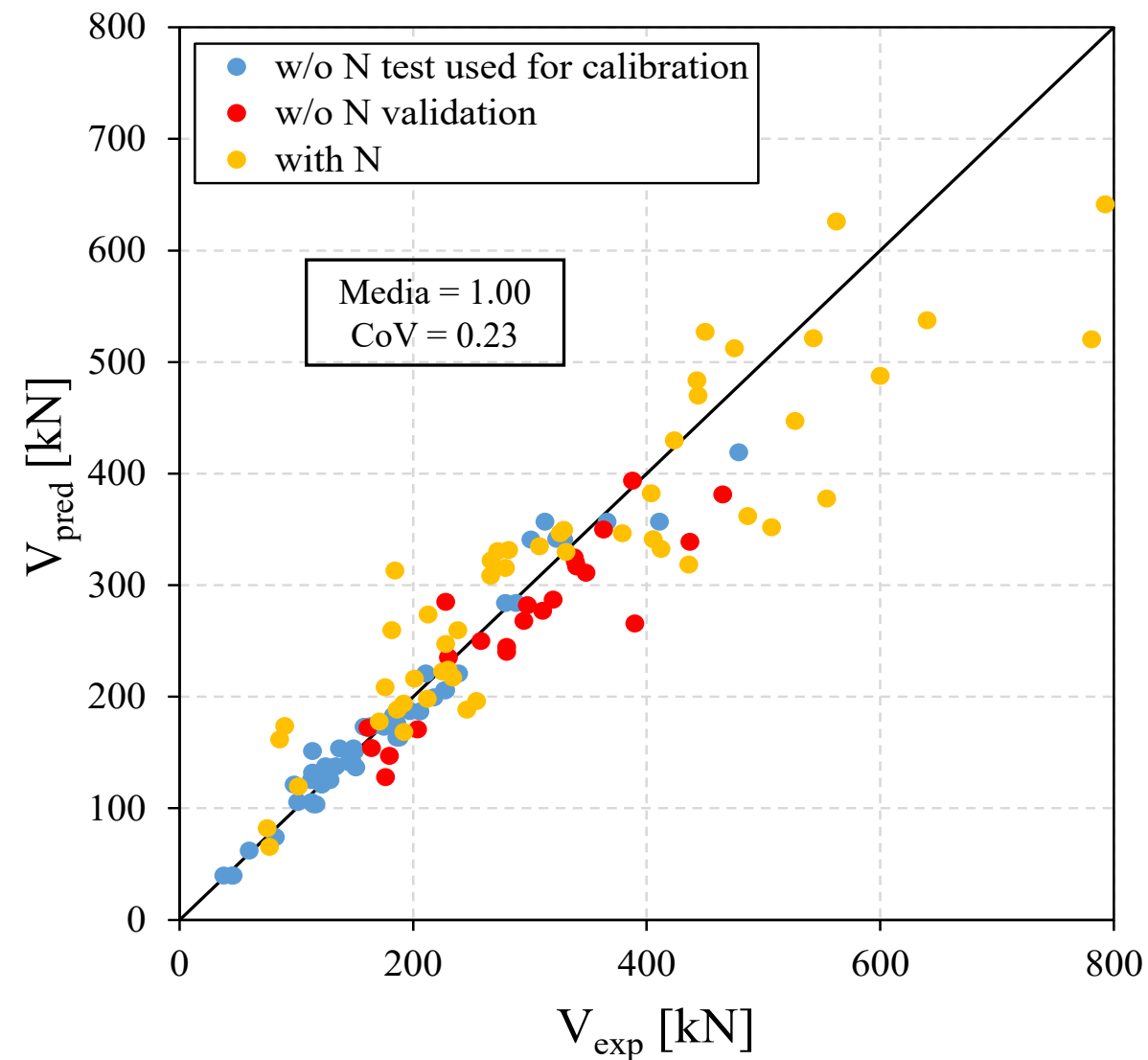
Percentuale geometrica di armatura trasversale

$$V_{Rd}^{wsr} = 0.232 \cdot D^2 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f'_c)^{\frac{1}{3}}$$

Diametro

Percentuale geometrica di armatura longitudinale

Resistenza cilindrica a compressione del calcestruzzo



Contributo del cls, armatura longitudinale e N:

$$V_{Rd}^{wsr} = 0.232 \cdot D^2 \cdot (100 \cdot \text{coefficiente aggiuntivo} \cdot (1 + 7.6 \cdot v) \cdot \rho_l \cdot f_c')^{\frac{1}{3}}$$

Diagram illustrating the components of the shear capacity formula:

- D : Diametro
- $(1 + 7.6 \cdot v)$: Sforzo normale adimensionalizzato
- ρ_l : Percentuale geometrica di armatura longitudinale
- f_c' : Resistenza cilindrica a compressione del calcestruzzo

Contributo delle staffe :

$$V_R^{sr} = V_{Rd}^{wsr} \cdot (1 + 238 \cdot \rho_w)$$

Diagram illustrating the components of the shear capacity formula:

- ρ_w : Percentuale geometrica di armatura trasversale

- Dell'analisi dei modelli di resistenza a taglio disponibili in letteratura è emerso che:
 - **i modelli semplificati sottostimano** la resistenza di elementi esistenti
 - i modelli più specifici per colonne circolari sono **accurati ma di complessa applicazione;**
- La campagna di prove sperimentali condotta ha evidenziato:
 - influenza significativa del **passo delle staffe e dello sforzo normale** sulla resistenza
- La nuova formulazione proposta risulta **robusta ed accurata** e permette una stima corretta della resistenza a taglio di **elementi esistenti in c.a. a sezione circolare**