



Prove sperimentali a rottura di travi rettangolari in cemento armato con staffatura tipo “Spirex” e staffatura tradizionale

Nel presente documento sono riportati i risultati delle prove sperimentali a flessione a cui sono state sottoposte quattro travi in c.a. con sezione rettangolare con armatura “classica” ed armatura a “spirale” (tipo Spirex) consegnate al Laboratorio dalla Società Schnell S.p.A. in qualità di Committente.

Le prove sono state effettuate nell’autunno 2009 presso il Laboratorio Prove Strutture e Materiali presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICeA) dell’Università degli Studi di Firenze.

Mentre le staffe “tradizionali” nelle travi in cemento armato sono costituite da elementi chiusi in acciaio disposti ad un passo discreto, nella staffatura a spirale le staffe sono realizzate attraverso una staffa continua a bracci verticali e passo variabile tipo “Spirex”, nel senso che le braccia hanno un andamento verticale ortogonalmente all’asse della trave mentre nel piano orizzontale sono disposti elementi inclinati; il sistema costituisce quindi un’armatura trasversale continua (senza ganci).

In seguito si riassumono alcuni dei principali risultati ottenuti nel corso delle prove.

Durante la campagna di prove sono state provate a rottura quattro travi a sezione rettangolare, che presentano dimensioni di **22 x 45** cm (base x altezza) e una lunghezza di 410 cm; le travi sono state realizzate in cemento armato ordinario ($R_{cm} = 37 \text{ N/mm}^2$, come è risultato dalle prove sperimentali su cubetti, riportate in Tabella 1), con ferri d’armatura longitudinale e trasversale in acciaio del tipo FeB44k ($f_{ym} = 510 \text{ N/mm}^2$, $f_{tm} = 620 \text{ N/mm}^2$, come è risultato dalle prove sperimentali su spezzoni di armatura, riportate in Tabella 2).

Tabella 1 - Prove di compressione su provini cubici prelevati a cura del committente.
Norma di riferimento UNI EN 12390-3:2003

Campioni	Data di prelievo	Data di prova	Dimensioni			Massa volumica [kg/ m ³]	Area [mm ²]	Tensione di rottura [N/mm ²]
			a [mm]	b [mm]	h [mm]			
A-1	16/06/09	30/09/09	150.0	151.0	150.0	2285	22650	37.77
A-2	16/06/09	30/09/09	150.0	150.0	150.0	2314	22500	36.26
A-3	16/06/09	30/09/09	150.0	149.5	150.0	2283	22425	35.83
A-4	16/06/09	30/09/09	150.0	149.0	150.0	2317	22350	37.62

Tabella 2 - Prova di trazione su provette di acciaio.
Norma di riferimento UNI/EN 10002-1:2004

provino	∅ nominale [mm]	∅ barra equipes. [mm]	Area sezione [mm ²]	Tensione snervam. [N/mm ²]	Tensione di rottura [N/mm ²]	A [%]	Marchio laminazione
F22a	22	22.1	382.2	553	652	20.3	\\4\2\6\
F22b	22	22.0	381.8	563	663	20.2	\\4\2\6\
F18a	18	18.3	264.0	534	640	27.0	\\4\2\5\
F18b	18	18.3	263.4	540	643	27.1	\\4\2\5\
F16a	16	15.9	199.7	509	614	21.8	\\4\2\6\
F16b	16	16.0	200.0	509	615	22.6	\\4\2\6\
F14a	14	14.0	153.8	439	540	25.7	\\4\2\6\
F14b	14	14.0	154.8	439	541	27.3	\\4\2\6\
F12a	12	12.0	112.4	531	630	25.0	\\4\2\6\
F12b	12	12.0	112.4	537	628	24.8	\\4\2\6\
F8a	8	8.1	51.0	466	642	-	\\4\2\6\
F8b	8	8.0	50.6	500	643	-	\\4\2\6\

Le quattro travi sono state realizzate con lo stesso layout complessivo, ma con una diversa disposizione di armatura trasversale e longitudinale; la denominazione adottata ed utilizzata nel seguito è la seguente:

- **TN1** : trave progettata per rottura per taglio (T) e staffe "tradizionali" (N)
- **TS1** : trave progettata per rottura per taglio (T) e staffe tipo "Spirex" (S)
- **FN1** : trave progettata per rottura per flessione (F) e staffe "tradizionali" (N)
- **FS1** : trave progettata per rottura per flessione (F) e staffe tipo "Spirex" (S)

Nelle due figure successive si riporta la disposizione delle armature nelle travi tipo "T" (TN1 e TS1) e nelle travi tipo "F" (FS1 e FN1). Le travi di tipo "T" presentano una forte armatura longitudinale, in modo da favorire la rottura per taglio, anticipandola rispetto a quella per flessione; viceversa, nelle travi tipo "F" è stata disposta un'armatura longitudinale più debole, per far sì di ottenere una rottura per flessione, e quindi valutare l'eventuale influenza della diversa armatura trasversale nelle modalità di rottura.

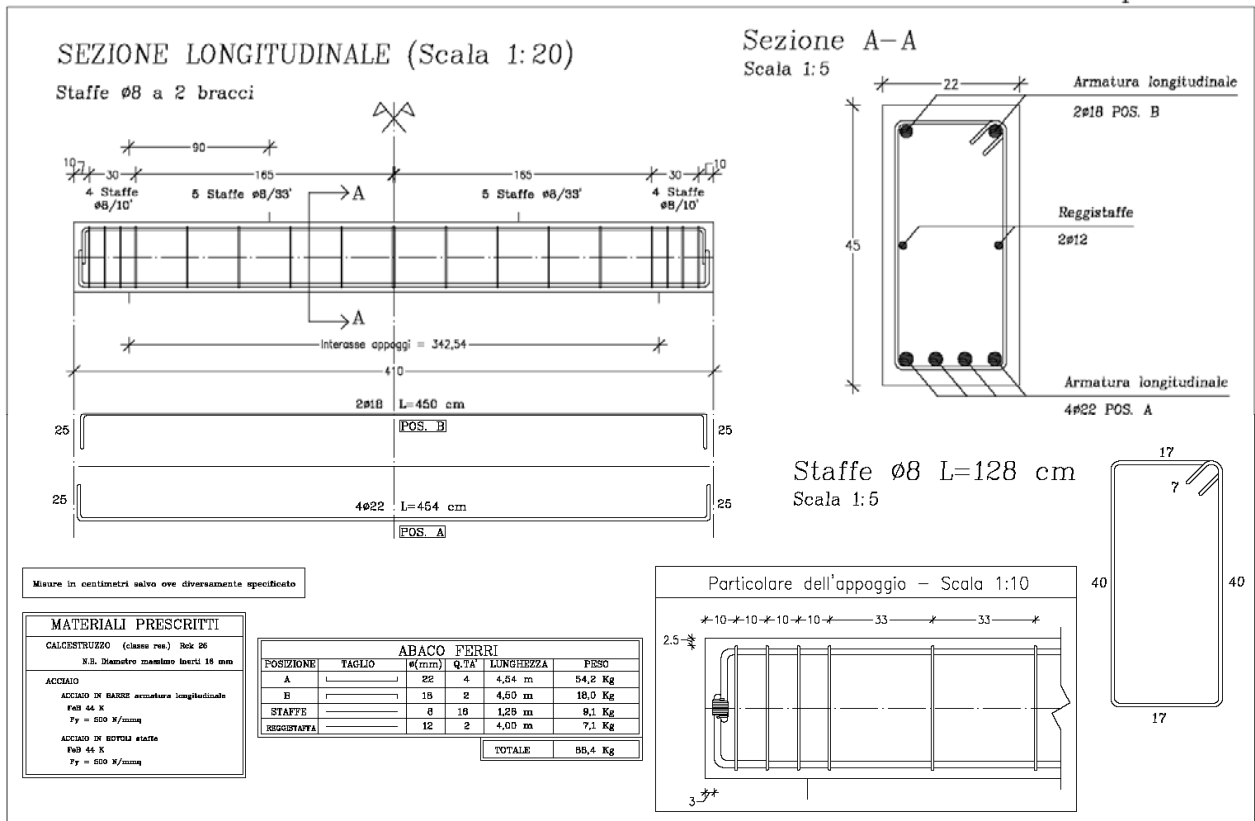


Figura 1 – Disposizione delle armature nelle travi progettate per rottura a taglio (tipo TN e TS)

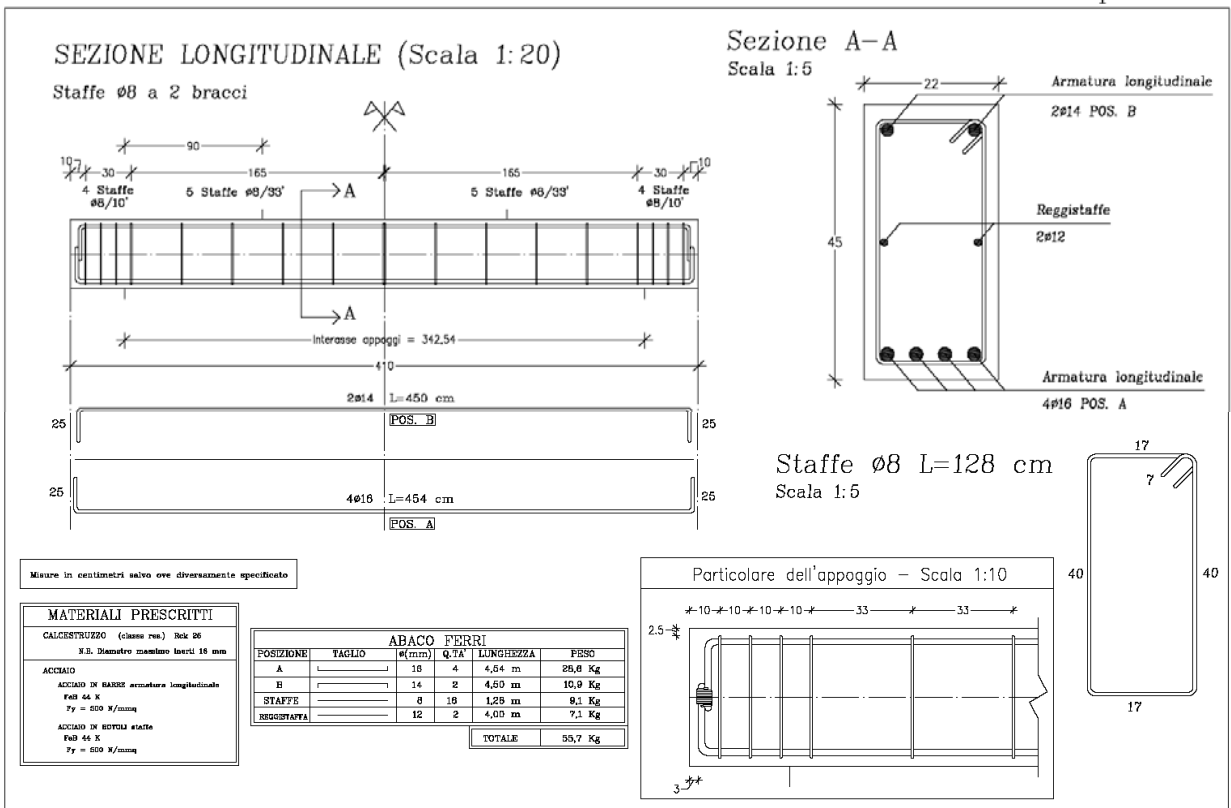


Figura 2 – Disposizione delle armature nelle travi progettate per rottura a flessione (tipo FN e FS)

Le prove sono state condotte disponendo le travi sul banco di prova, secondo lo schema riportato nella successiva Figura 3, in accordo allo schema di prova a flessione su 2 punti, utilizzando una distanza fra gli attuatori pari a 160 cm, lasciando una zona di possibile rottura a taglio pari a 90 cm (circa 3 volte l'altezza utile della sezione), ottenendo una distanza tra gli appoggi di 340 cm.

I carichi di prova (P1 e P2) sono stati generati mediante due attuatori idraulici servocontrollati tipo MTS 204.72 da 350 kN.

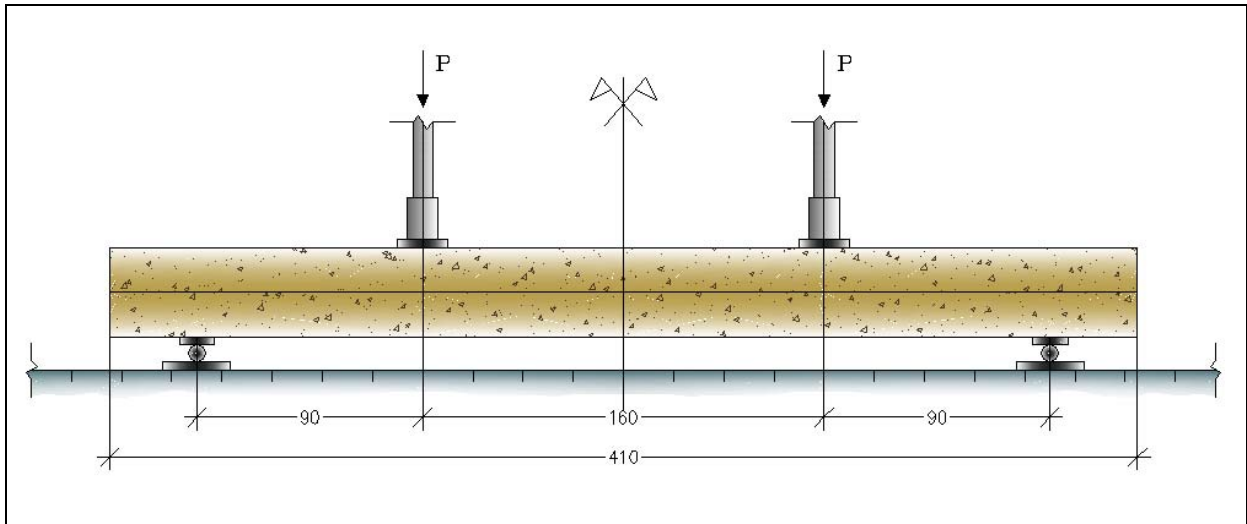


Figura 3 – Schema di prova di flessione su due punti



Figura 4 – Vista dell'apparato sperimentale

Nel corso delle prove sono state rilevate le seguenti grandezze fisiche:

- le forze generate dagli attuatori idraulici (P_1 e P_2);
- gli spostamenti verticali in corrispondenza della mezzeria della trave, dei punti di applicazione del carico ed in prossimità degli appoggi, per un totale di cinque punti di misura; tali spostamenti sono stati valutati mediante trasduttori di spostamento con fondo scala pari a 25 mm (per i trasduttori posti in prossimità degli appoggi) e 125 mm (per gli altri);
- le deformazioni in alcune sezioni della trave; si è provveduto alla misura delle deformazioni a compressione e a trazione del calcestruzzo nella zona centrale a momento costante (mediante 2 trasduttori in corrispondenza della mezzeria, rispettivamente disposti all'intradosso e all'estradosso della trave) ed alle deformazioni in direzione diagonale (mediante 4 trasduttori posti nelle zone a taglio costante). Le deformazioni sul calcestruzzo nelle zone a momento costante sono state rilevate mediante trasduttori di spostamento con fondo scala 2 mm, quelle in direzione diagonale mediante trasduttori con fondo scala 10 mm;
- le deformazioni sulle armature di acciaio in due punti in mezzeria di due barre intradosali e 6 punti di misura nei bracci verticali delle staffe delle travi tipo T e 7 punti per le travi tipo F. Le deformazioni sono state misurate mediante estensimetri elettrici a variazione di resistenza tipo HBM LY41 3/120, con base di misura 3 mm.

I dati di prova sono stati registrati con continuità mediante un sistema di acquisizione ed elaborazione dati gestito da un computer. Tutte le prove sono state effettuate nelle stesse condizioni, utilizzando una procedura di avanzamento in controllo di spostamento, con un valore di incremento dello spostamento dei punti di controllo (posizione degli attuatori) pari a 2 mm/min.

I risultati ottenuti sono stati sintetizzati nella seguente Tabella 3 e nelle Figure 5 e 6.

Tabella 3 - Forza massima registrata nel corso delle prova ($P_{max} = P_1 + P_2$) e spostamenti in corrispondenza del valore di P_{max} (F1: spostamento verticale in corrispondenza del carico P_1 ; F2: spostamento verticale in corrispondenza del carico P_2 ; Fmid: spostamento verticale in mezzeria)

Tipo di rottura	Armatura	Trave	Data di prova	P_{max}	$F1_{(P_{max})}$	$Fmid_{(P_{max})}$	$F2_{(P_{max})}$
				[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
Taglio	Tradizionale	TN1	29/09/09	497.06	12.79	14.95	12.05
	Tipo "Spirex"	TS1	30/09/09	656.64	17.52	20.19	15.51
Flessione	Tradizionale	FN1	06/10/09	419.10	24.02	32.95	23.18
	Tipo "Spirex"	FS1	02/10/09	419.96	24.27	30.79	22.00

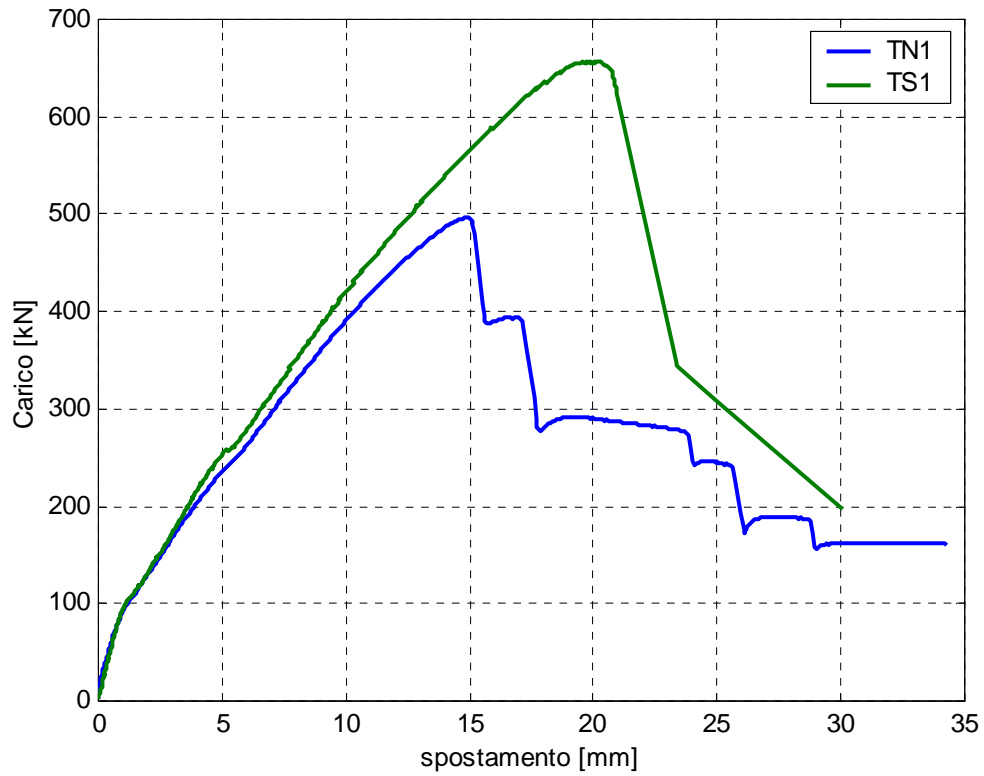


Figura 5 – Travi con rottura per taglio: grafico forza totale – spostamento in mezzeria (TN1: trave con armatura tradizionale; TS1: trave con armatura tipo "Spirex")

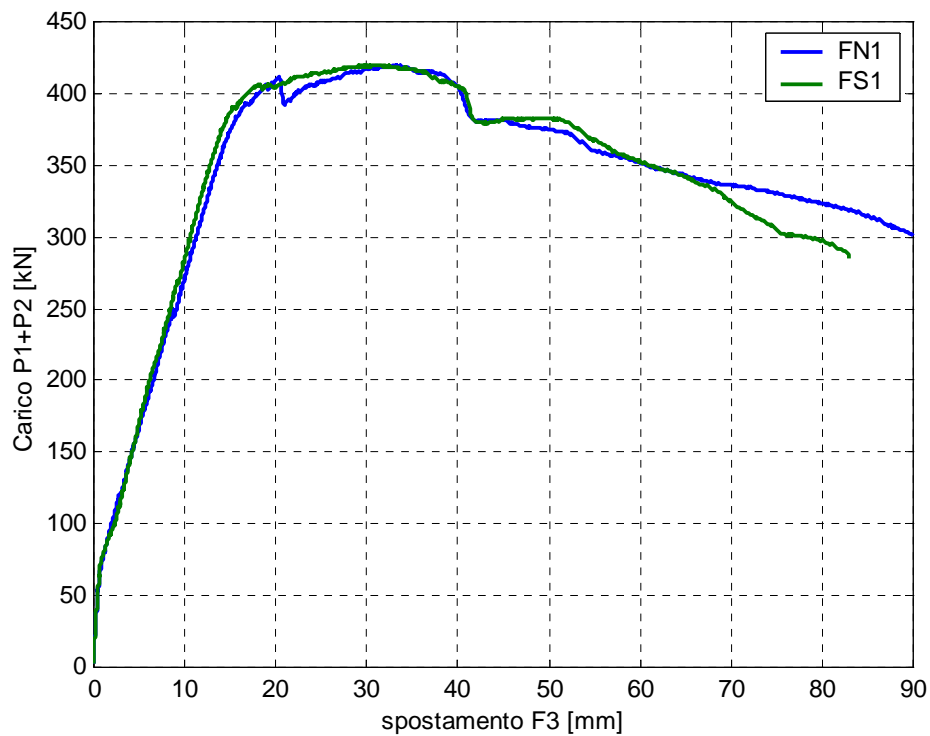


Figura 6 – Travi con rottura per flessione: grafico forza totale – spostamento in mezzeria (FN1: trave con armatura tradizionale; FS1: trave con armatura tipo "Spirex")

Commenti sui risultati ottenuti

- Nelle travi che hanno subito un **collasso per taglio**, si nota un apprezzabile **incremento in termini di carico ultimo**; il carico di rottura della trave armata con staffatura "continua" è circa il 30% più grande del corrispondente valore riscontrato in quella che presenta una disposizione "tradizionale" di staffe;
- Nelle travi che hanno subito una **rottura per taglio**, si notano differenze nel comportamento successivo al raggiungimento del carico ultimo; la **resistenza residua** della trave armata con staffatura "continua" è **maggiore** di quella misurata nella trave con staffatura "tradizionale";
- Nei confronti della **rottura per flessione** l'adozione di una soluzione anziché dell'altra non sembra influenzare le modalità di rottura; il **carico ultimo** sopportato dalla trave armata con staffatura "continua" è praticamente **coincidente** con quello misurato nella trave con staffatura "tradizionale"; anche il comportamento successivo alla rottura è pressoché lo stesso nei due casi investigati;
- I risultati ottenuti mostrano un **buon comportamento** delle travi armate con staffatura "continua" rispetto a quelle con una disposizione "tradizionale" di staffe. In nessuna delle travi armate con staffatura "continua" è stata riscontrata una riduzione dei carichi massimi rispetto a quelle con staffatura "tradizionale". In generale, le travi armate con staffatura "continua" si comportano, nei confronti della rottura a taglio, in maniera migliore rispetto a quelle con una disposizione "tradizionale" di staffe; nei confronti della rottura per flessione, la diversa staffatura non sembra avere influenze apprezzabili.

In conclusione, si può quindi affermare che, dai risultati ottenuti nei quattro tests effettuati l'utilizzo delle armature tipo "Spirex" ha comportato, rispetto alle armature tradizionali, un incremento dei carichi ultimi della trave, a beneficio della sicurezza della trave.

Di conseguenza, l'utilizzo delle staffe tipo "Spirex" può essere sicuramente indicato in sostituzione della disposizione tradizionale di armatura trasversale, senza la necessità di operare nessuna correzione nei comuni procedimenti di calcolo, che portano eventualmente a sottostimare la resistenza effettiva a taglio della trave; la maggiore resistenza finale offerta dall'utilizzo delle staffe tipo "Spirex" costituirà un'ulteriore riserva in termini di sicurezza del manufatto.

Firenze, 24.11.2009

Prof. Gianni Bartoli