



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO  
FACOLTA' DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E STRUTTURALE



**PROGETTO HECO POWER SISTEM "V"**  
Studio sperimentale del comportamento meccanico di connettori  
per travi composte legno-calcestruzzo

Ing. Marco Ballerini – Ing. Claudio Montresor

Novembre 2009

## Indice

1. Introduzione .....	1
1.1 Descrizione del connettore POWER SISTEM “V”® .....	1
1.2 Configurazioni di posa del connettore POWER SISTEM “V”® .....	3
1.3 Meccanismi di trasmissione della forza nelle differenti configurazioni di posa.....	4
1.4 Riferimenti normativi.....	5
2. Descrizione dell’indagine sperimentale .....	6
2.1 Campioni con assito interrotto – serie 1H.....	6
2.2 Campioni con assito continuo – serie 2H xxxAS.....	9
2.3 Campioni con assito continuo – serie 2H xxxAP.....	11
3. Risultati dell’indagine sperimentale.....	13
3.1 Attrezzatura di prova.....	13
3.2 Risultati delle prove .....	14
3.2.1 Campioni 1H 100A.....	15
3.2.2 Campioni 1H 150A.....	17
3.2.3 Campioni 1H 200A.....	19
3.2.4 Campioni 1H 100S .....	21
3.2.5 Campioni 2H 100AS .....	23
3.2.6 Campioni 2H 150AS .....	25
3.2.7 Campioni 2H 200AS .....	27
3.2.8 Campioni 2H 100AP .....	29
3.2.9 Campioni 2H 150AP .....	31
3.2.10 Campioni 2H 200AP .....	33
4. Interpretazione dei risultati .....	35
4.1 Metodologia di elaborazione dei dati .....	35
4.2 Determinazione della resistenza caratteristica dei connettori .....	38
4.3 Determinazione delle rigidezze in accordo con la normativa italiana.....	41
4.3.1 Determinazione delle rigidezze tenendo conto del passo fra i connettori.....	41
4.3.2 Determinazione delle rigidezze non considerando il passo fra i connettori.....	45
4.4 Determinazione delle rigidezze in accordo con la normativa europea.....	48
4.4.1 Determinazione delle rigidezze tenendo conto del passo fra i connettori.....	48
4.4.2 Determinazione delle rigidezze non considerando il passo fra i connettori.....	52
5. Conclusioni .....	55

## 1. Introduzione

La ditta Heco Italia S.r.l., attiva nel settore dei componenti per l’edilizia, ha recentemente brevettato un connettore per solai collaboranti legno-calcestruzzo di nuova concezione, denominato POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>. Tale connettore non presenta caratteristiche meccaniche deducibili da alcuna normativa attualmente disponibile.

Per questo motivo, la Heco Italia S.r.l. ha incaricato il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell’Università degli Studi di Trento di effettuare una ricerca applicata per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di rigidezza del connettore. La ricerca applicata, denominata “Progetto HECO POWER SISTEM V” e coordinata dall’ing. Marco Ballerini, è stata pianificata ed eseguita presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture dell’Università di Trento.

L’obiettivo della ricerca applicata è la definizione dei parametri progettuali del connettore “POWER SYSTEM V” per l’impiego dello stesso nella realizzazione di solai collaboranti legno-calcestruzzo.

Il progetto ha previsto la preparazione e l’esecuzione di 38 prove tipo push-out nelle quali il connettore è investigato per tre differenti configurazioni di posa.

### **1.1 Descrizione del connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>**

Il connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>, brevettato e prodotto dalla Heco Italia S.r.l. , è un connettore a secco di tipo puntuale per la realizzazione di solai misti legno-calcestruzzo.

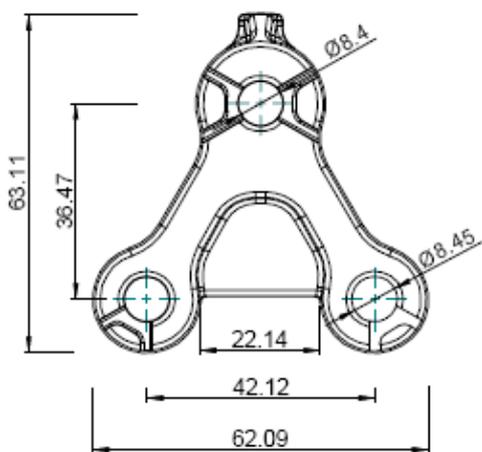
Il connettore è costituito da un elemento plastico principale a forma di V, da 3 viti autoforanti di fissaggio dello stesso alle travi di legno, e da un elemento aggiuntivo necessario per aumentare le caratteristiche di aderenza del connettore in differenti configurazioni di posa. L’elemento aggiuntivo è costituito o da una piastrina metallica opportunamente sagomata oppure da un elemento cilindrico in resina da inserire in un foro appositamente predisposto.

Gli elementi che costituiscono il connettore sono raffigurati in Figura 1.1 mentre in Figura 1.2 ne riporta i dettagli geometrici.

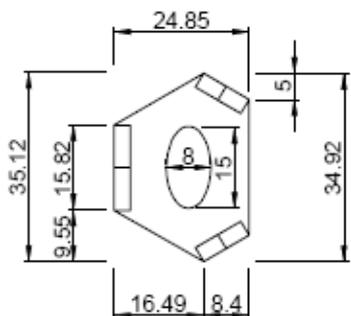


Figura 1.1 – Il connettore POWER SYSTEM “V”<sup>®</sup>

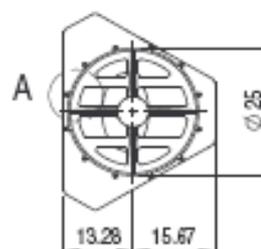
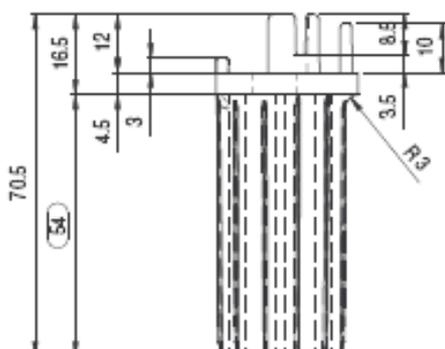
**Connettore principale**



**Piastrina metallica**



**Piolo plastico**



*Figura 1.2 – Dimensioni del connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>*

## **1.2 Configurazioni di posa del connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>**

Le modalità di assemblaggio del connettore sono di seguito descritte:

### **1) Connettore con piastra metallica in assenza di assito fra trave e soletta**

nel caso in cui l’assito risulti essere interrotto in corrispondenza delle travi lignee è previsto l’utilizzo dell’elemento principale accoppiato con la piastrina metallica dentata. In questo caso il connettore è fissato con 3 viti autoforanti del diametro di 8 mm (Heco “POWER CUT”<sup>®</sup>) delle quali le due anteriori terminano al filo superiore del connettore, mentre la terza sporge da tale filo superiore di circa 2 cm.

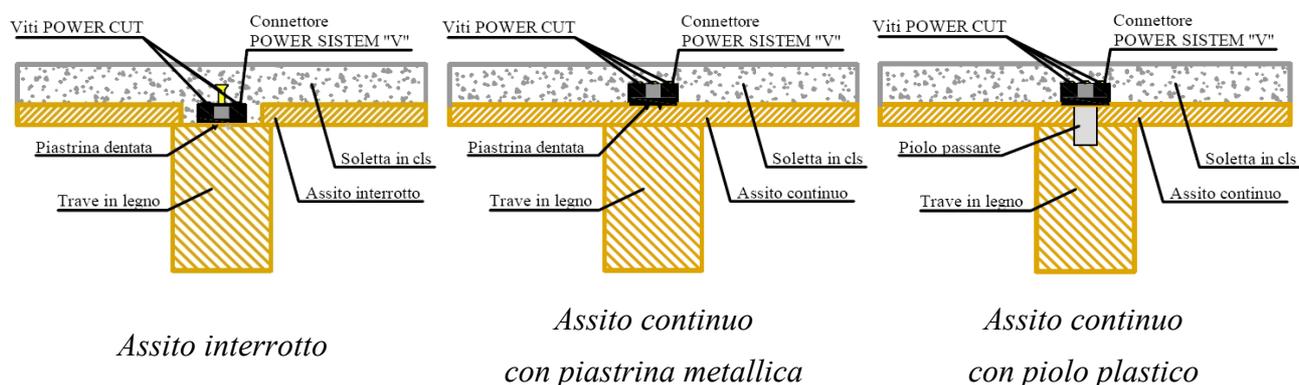
### **2) Connettore con piastra metallica con presenza di assito fra trave e soletta**

è previsto il possibile utilizzo del connettore precedentemente illustrato anche nel caso in cui l’assito risulti non interrotto in corrispondenza delle travi lignee. Per questa seconda geometria è previsto l’impiego delle viti precedentemente descritte le quali però terminano tutte in corrispondenza del filo superiore del connettore.

### **3) Connettore con piolo in resina e presenza di assito fra trave e soletta**

nel caso di assito non interrotto è possibile l’impiego dell’elemento principale del connettore accoppiato con il piolo in resina. Anche in questo caso è previsto l’utilizzo delle viti come in 2). I pioli in resina sono alloggiati in fori appositamente realizzati di diametro 25 mm e profondità di 50 mm.

Nella Figura 1.3 sono illustrate le tre modalità di disposizione dei connettori descritte.



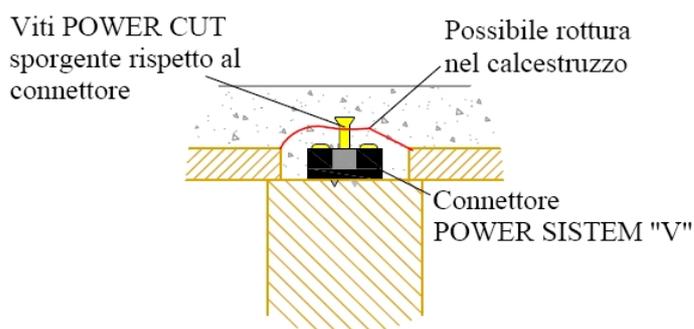
*Figura 1.3 – Le 3 possibili tipologie di posa del connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>.*

### 1.3 Meccanismi di trasmissione della forza nelle differenti configurazioni di posa

Il connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup> è di tipo puntuale con un meccanismo di trasmissione delle forze principalmente di compressione parallela alle fibrature. Per le tre tipologie di posa del connettore, il meccanismo di trasmissione delle forze risulta essere differente. Di seguito si riporta una descrizione dei vari meccanismi che vengono a formarsi nelle varie configurazioni.

**Assito interrotto:** in questa configurazione il trasferimento delle forze sul lato legno viene affidato alla piastrina metallica ed alle viti. In termini di resistenza entrambi gli elementi coprono un ruolo fondamentale, in termini di rigidità invece il ruolo della piastrina risulta essere molto più importante di quello delle viti (questa infatti è inserita a pressione nella trave e risulta efficacemente ancorata – anche in virtù del ridotto spessore – con il connettore principale).

Il trasferimento delle forze sul lato del calcestruzzo è invece affidato al connettore principale per compressione e per taglio-trazione della vite che sporge dal filo superiore dello stesso. Come ben evidenziato in Figura 1.4, la presenza della vite sporgente rispetto al filo superiore del connettore risulta di fondamentale importanza al fine di conferire adeguata resistenza alla connessione. Tale vite infatti influenza in modo determinante la superficie di rottura a taglio della sezione a T della soletta di calcestruzzo (si veda la Figura 1.4).



**Figura 1.4 – Possibile rottura nel cls.**

**Assito continuo con piastrina metallica:** per questa tipologia di posa il trasferimento delle forze sul lato legno è affidato quasi completamente alle viti. Difatti la piastrina metallica in questo caso va ad inserirsi sull’assito dando quindi un contributo in termini di resistenza non nullo ma comunque di poco conto. Il trasferimento delle forze sul lato del calcestruzzo in questo caso è invece completamente affidato al connettore principale per compressione.

**Assito continuo con piolo plastico:** in questa configurazione il trasferimento delle forze sul lato legno viene affidato al piolo plastico ed alle viti. In termini di resistenza entrambe gli elementi risultano essere indispensabili, mentre in termini di rigidità il maggior contributo è dato dal piolo. Il piolo infatti è inserito direttamente nella trave per mezzo di un foro passante l’assito e

incastrato nel corpo in resina dell'elemento principale. Anche in questo caso il trasferimento delle forze sul calcestruzzo avviene per compressione sul connettore principale.

#### **1.4 Riferimenti normativi**

Per l'esecuzione dell'indagine sperimentale sui campioni tipo push-out, si è fatto riferimento alla norma UNI EN 26891/1991 “Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità”. Come sarà ricordato anche più avanti, tale norma prevede l'esecuzione della prova in controllo di carico fino al 70% del carico di collasso previsto (con un ciclo iniziale di carico fino al 40 % del carico di collasso previsto) e successivamente il raggiungimento del collasso in controllo di spostamento.

Per la definizione della resistenza caratteristica dei connettori si è fatto riferimento a conoscenze consolidate di inferenza statistica.

Con riferimento alla definizione delle caratteristiche di rigidità del connettore si è fatto riferimento alle prescrizioni della normativa italiana ed a quelle della norma europea.

Nel dettaglio le norme utilizzate sono:

- 1) Norme Tecniche per le Costruzioni: D.M. 14 gennaio 2008;
- 2) UNI EN 1990:2006 - Eurocodici - Criteri generali di progettazione strutturale;
- 3) UNI EN 1995-1-1:2009 – Eurocodici 5 – Progettazione delle strutture di legno –Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici.

## 2. Descrizione dell'indagine sperimentale

I campioni sottoposti a prova sono provini tipo “push-out” costituiti ciascuno da uno spezzone di trave di legno lamellare di abete rosso collegato ad una soletta di calcestruzzo mediante connettori POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>. Sono state realizzate tre serie di campioni caratterizzate ciascuna da differente disposizione dell'assito e da differenti versioni del connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup>.

Le caratteristiche generali dei campioni sottoposti a prova sono:

1. trave in legno lamellare di abete rosso di classe di resistenza GL24 e di lunghezza 900 mm con sezione 120 x 180 mm oppure 140 x 180 mm;
2. soletta in conglomerato cementizio di classe C25/30, con lunghezza 900 mm e sezione 500 x 50 mm

Nei paragrafi seguenti sono illustrate le caratteristiche delle diverse serie investigate e dei connettori utilizzati. In totale sono stati realizzati 38 provini tipo push-out.

### 2.1 Campioni con assito interrotto – serie 1H

In questa serie sono state investigati campioni caratterizzati da 4 differenti disposizioni dei connettori. Per ogni disposizione sono stati realizzati 5 provini identici al fine di una minima caratterizzazione statistica.

I campioni di questa serie, caratterizzati dalla presenza di assito interrotto in corrispondenza della trave, hanno utilizzato il connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup> illustrato in Figura 2.1 applicato direttamente alla trave in legno lamellare. In Figura 2.2 è illustrato un campione prima del getto; come si può vedere tra trave e soletta è stato interposto un telo traspirante.



**Figura 2.1** – Il connettore POWER SYSTEM “V”<sup>®</sup> per l'assemblaggio con assito interrotto.



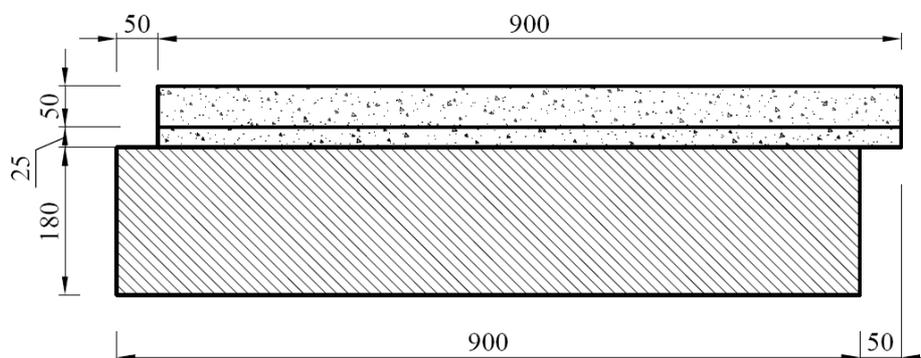
**Figura 2.2** – Vista di un campione prima del getto del calcestruzzo (1H 150A).

Dalla medesima Figura 2.2 si può altresì notare la conformazione a T della soletta di calcestruzzo.

Come già anticipato in questa serie sono state investigate 4 differenti disposizioni dei connettori; in particolare si sono indagate 3 disposizioni allineate, con spaziatura 100, 150 e 200 mm, ed una disposizione sfalsata degli stessi con spaziatura pari a 100 mm.

I campioni caratterizzati dalle differenti spaziature sono nell'ordine così denominati: 1H 100A, 1H 150A, 1H 200A e 1H 100S. I campioni con disposizione allineata dei connettori sono stati realizzati con spezzoni di travi di legno lamellare di sezione 120 x 180 mm, quelli con connettori sfalsati con spezzoni di trave con sezione 140 x 180 mm.

La Figura 2.3 riporta la sezione longitudinale dei campioni della serie 1H mentre le immagini della Figura 2.4 riportano la sezione e la pianta dei campioni caratterizzati da differente disposizione dei connettori.



**Figura 2.3** – Dimensioni longitudinali dei campioni push-out serie 1H.

La posa dei connettori si è articolata secondo le seguenti fasi:

1. applicazione del telo traspirante;
2. posizionamento e fissaggio (mediante martello) della squadretta metallica;
3. posizionamento del connettore e fissaggio dello stesso mediante il serraggio di tre viti autoforanti di diametro 8 mm.

Sebbene già ricordato, le tre viti sono state poste in opera senza preforo e la vite corrispondente al vertice del connettore sporge dal filo superiore dello stesso di circa 2 cm. Tale osservazione non è banale in quanto, come vedremo in fase di elaborazione dei risultati, la geometria di tale vite ha contribuito significativamente alla resistenza finale dei campioni.

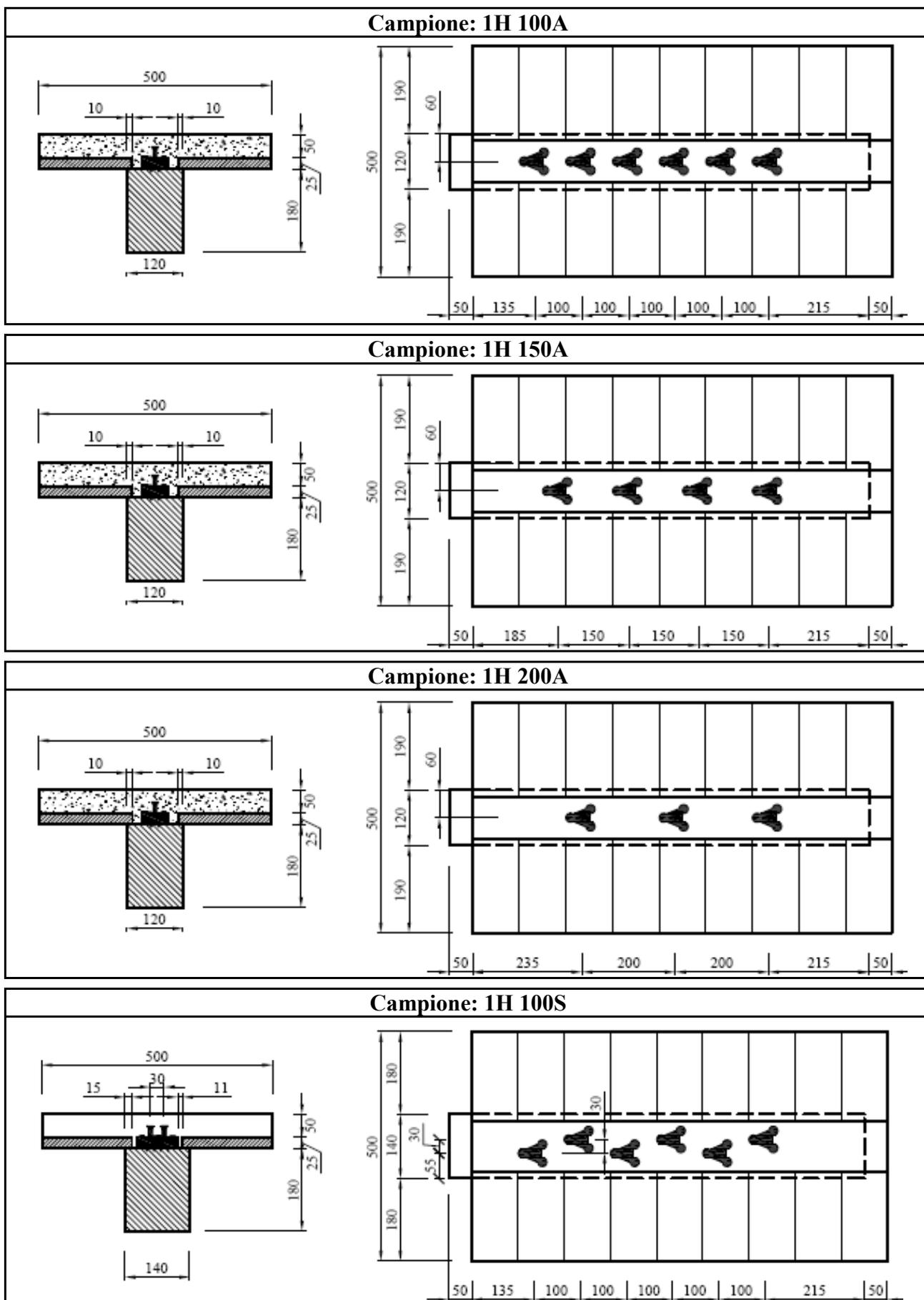


Figura 2.4 – Geometria e disposizione dei connettori delle quattro serie di campioni push-out.

## 2.2 Campione con assito continuo – serie 2H xxxAS

In questa serie sono stati investigati campioni caratterizzati da 3 differenti disposizioni dei connettori. Per ogni disposizione sono stati realizzati 3 provini identici al fine di una minima caratterizzazione statistica.

I campioni di questa serie, caratterizzati dalla presenza di assito continuo sulla trave, hanno utilizzato il connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup> illustrato in Figura 2.5 applicato direttamente sull'assito. In Figura 2.6 è illustrato un campione prima del getto; come si può vedere tra trave e soletta è stato interposto un telo traspirante.



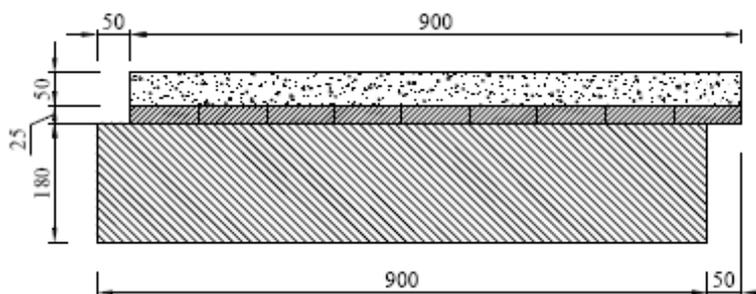
**Figura 2.5** – Il connettore POWER SYSTEM “V”<sup>®</sup> per l'assemblaggio con assito continuo e piastrina metallica.



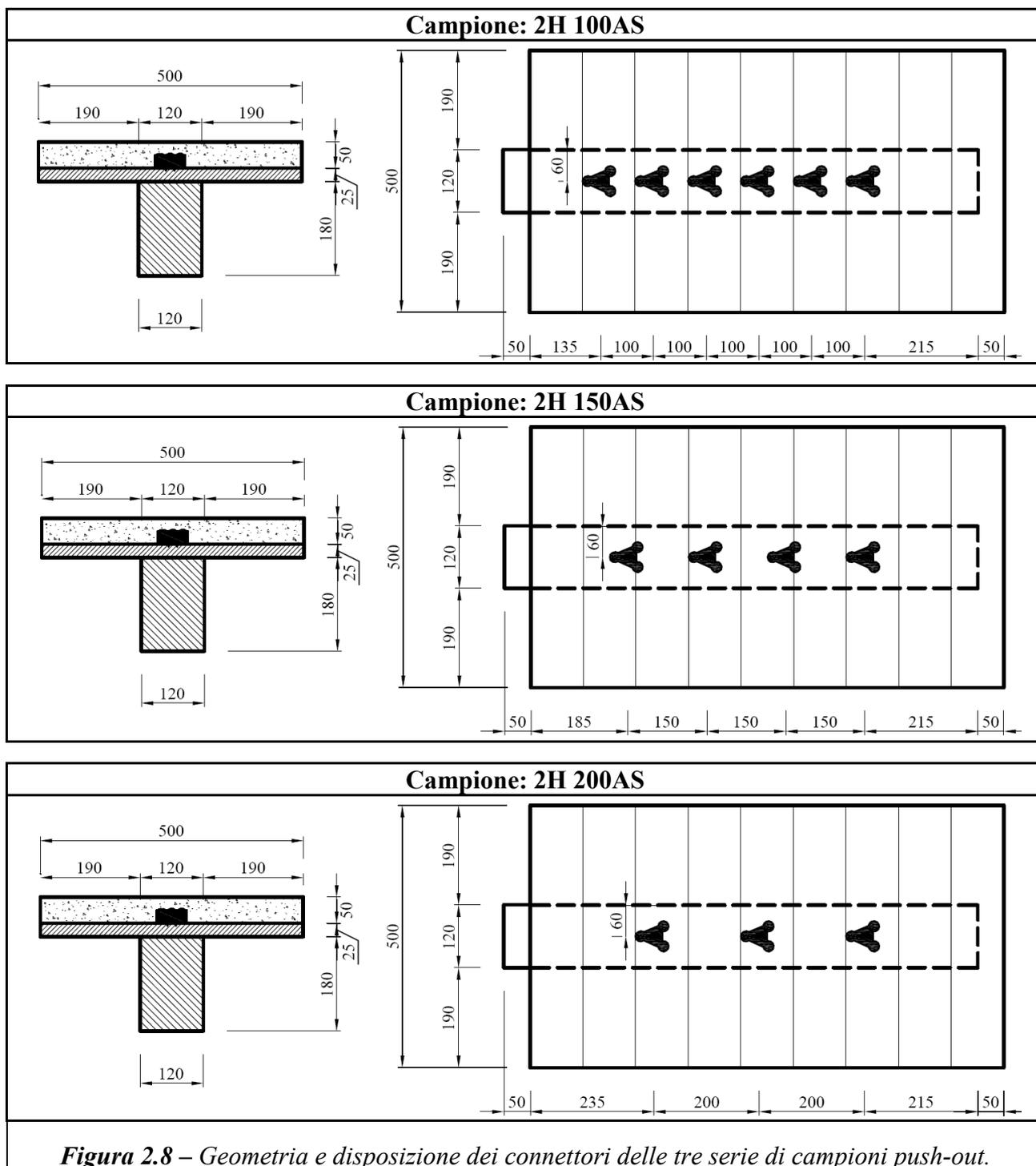
**Figura 2.6** – Vista di un campione prima del getto del calcestruzzo

Come già anticipato in questa serie sono state investigate 3 differenti disposizioni dei connettori; tutte le disposizioni prevedevano connettori allineati con spaziatura pari a 100, 150 e 200 mm. I campioni caratterizzati dalle differenti spaziature sono stati denominati 2H 100AS, 2H 150AS e 2H 200AS. I campioni sono stati realizzati con spezzoni di travi di legno lamellare di sezione 120 x 180 mm.

La Figura 2.7 riporta la sezione longitudinale dei campioni di questa serie mentre le immagini della Figura 2.8 riportano la sezione e la pianta dei campioni caratterizzati da differente disposizione dei connettori.



**Figura 2.7** – Dimensioni longitudinali dei campioni push-out (serie 2H xxxAS).



La posa dei connettori si è articolata secondo le seguenti fasi:

1. applicazione del telo traspirante;
2. posizionamento e fissaggio (mediante martello) della squadretta metallica;
3. posizionamento del connettore e fissaggio dello stesso mediante il serraggio di tre viti autoforanti di diametro 8 mm.

Sebbene già ricordato, le tre viti sono state poste in opera senza preforo e tutte risultano a filo del connettore stesso.

### 2.3 Campioni con assito continuo – serie 2H xxxAP

In questa serie sono stati investigati campioni caratterizzati da 3 differenti disposizioni dei connettori. Anche in questo caso per ragioni statistiche, per ogni disposizione sono stati realizzati 3 provini identici. I campioni di questa serie, caratterizzati dalla presenza di assito continuo sulla trave, hanno utilizzato il connettore POWER SISTEM “V”<sup>®</sup> illustrato in Figura 2.9 applicato direttamente sull'assito. In Figura 2.10 è illustrato un campione prima del getto; come si può vedere tra trave e soletta è stato interposto un telo traspirante, da notare anche la presenza della rete elettrosaldata.



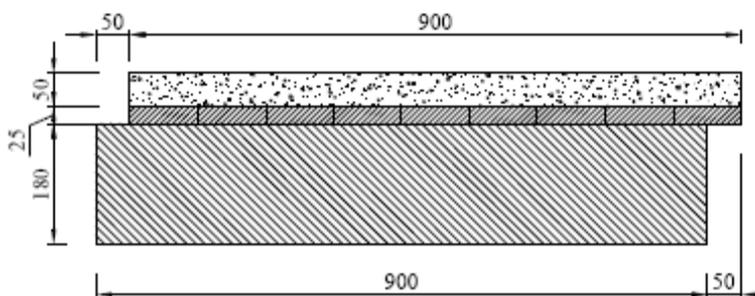
**Figura 2.9** – Il connettore POWER SYSTEM “V”<sup>®</sup> per l'assemblaggio con assito continuo e piolo plastico.



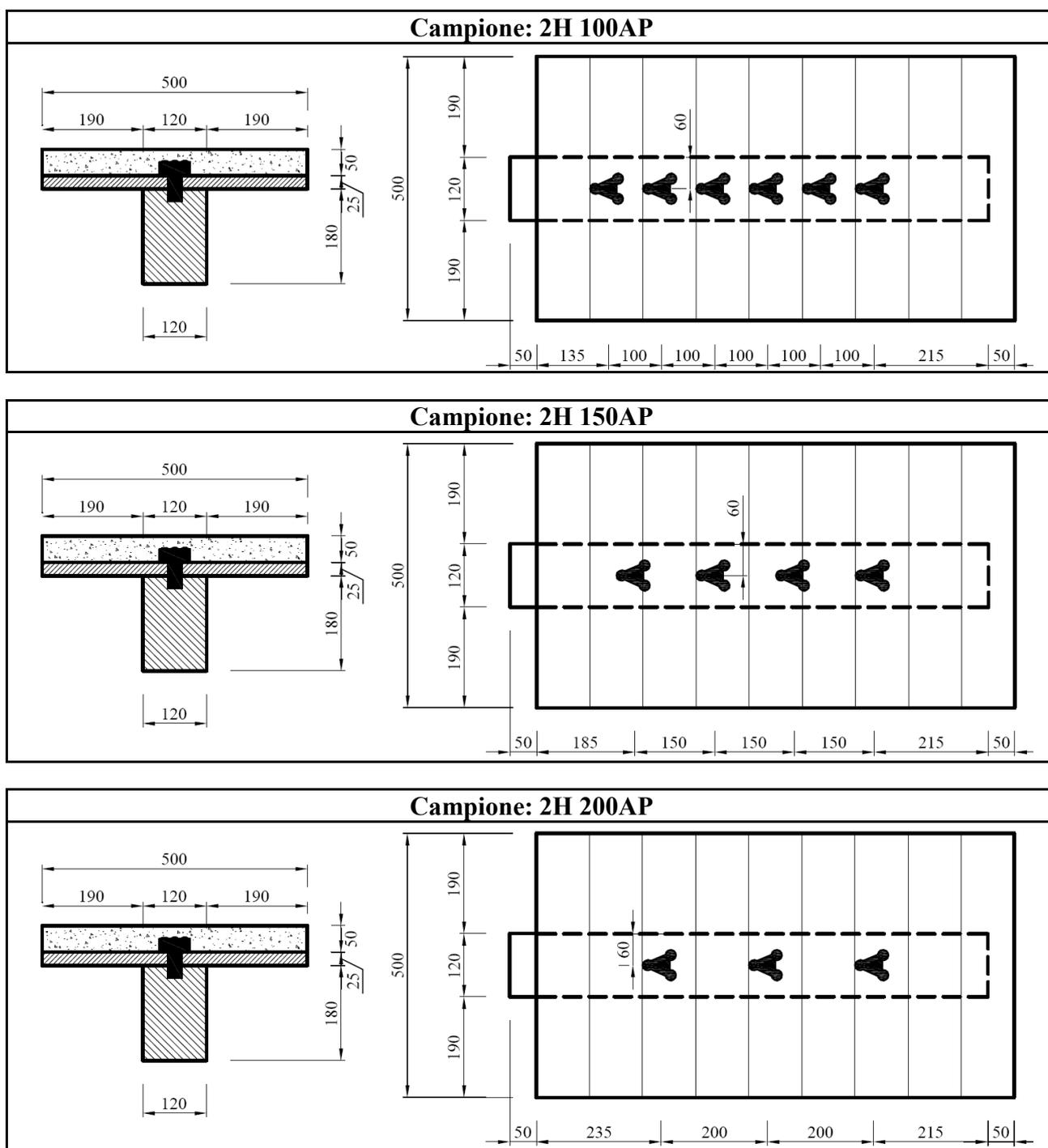
**Figura 2.10** – Vista di un campione prima del getto del calcestruzzo.

Tutte le disposizioni dei connettori indagate prevedevano connettori allineati con spaziatura pari a 100, 150 e 200 mm. I campioni caratterizzati dalle differenti spaziature sono stati nell'ordine denominati 2H 100AP, 2H 150AP e 2H 200AP. I campioni sono stati realizzati con spezzoni di travi di legno lamellare di sezione 120 x 180 mm.

La Figura 2.11 riporta la sezione longitudinale dei campioni della serie in oggetto mentre le immagini della Figura 2.12 riportano la sezione e la pianta dei campioni caratterizzati da differente disposizione dei connettori.



**Figura 2.11** – Dimensioni longitudinali dei campioni push-out (serie 2H xxxAP).



*Figura 2.12 – Geometria e disposizione dei connettori delle tre serie di campioni push-out.*

La posa dei connettori si è articolata secondo le seguenti fasi:

1. applicazione del telo traspirante;
2. Realizzazione del foro e successivo inserimento del piolo in resina;
3. posizionamento del connettore e fissaggio dello stesso mediante il serraggio di tre viti autoforanti di diametro 8 mm.

Anche in questo caso, le tre viti sono state poste in opera senza preforo e risultano tutte a filo del connettore.

### 3. Risultati dell'indagine sperimentale

In questo capitolo si presentano sia la modalità d'esecuzione delle prove sia i risultati delle prove stesse senza alcuna elaborazione od interpretazione significativa dei dati.

Per ogni serie di campioni sono state realizzate sia prove monotone fino a rottura in controllo di spostamento, sia prove con un ciclo di scarico-carico secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 26891/1991 “Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità”.

Per i campioni con assito interrotto (serie 1H), si sono eseguite 2 prove monotone e 3 cicliche per ogni spaziatura considerata (in questa serie sono stati realizzati 5 campioni per ogni disposizione dei connettori). Per i campioni con assito continuo (serie 2H), per i quali la numerosità era di 3 campioni per configurazione, si sono eseguite una prova monotona e 2 cicliche.

#### 3.1 Attrezzatura di prova

Le prove sono state eseguite secondo lo schema di prova rappresentato nella fotografia di Figura 3.1.

Le prove monotone sono state eseguite in controllo di spostamento con velocità di applicazione dello stesso pari a 0,05 mm/sec.

Le prove conformi alla norma UNI EN 26891/1991 sono state svolte in controllo di carico fino ad un valore dello stesso pari al 70% del carico di rottura stimato ( $F_{est}$ ), e successivamente in controllo di spostamento fino a rottura con velocità di applicazione dello stesso pari a 0,05 mm/sec.

Le prove sono state realizzate per mezzo del telaio di contrasto e dell'attuatore idraulico MTS, servo-assistito e con capacità di carico pari a 1000 kN, illustrati in Figura 3.2.

Il carico è stato rilevato per mezzo della cella di carico MTS montata sull'attuatore (Certificato di Taratura 05CT015 del 21-feb-05 – Centro di taratura MTS-SIT126), mentre gli scorrimenti sono stati rilevati per mezzo di due trasduttori di spostamento AEP con linearità minore dello 0,1% del FS (FS = 50 mm).

L'acquisizione dei dati è stata effettuata in modo continuo mediante centralina di acquisizione HBM modello Spider 8.



*Figura 3.1 – Schema di prova*



*Figura 3.2 – Telaio di contrasto, attuatore MTS e postazione di controllo/acquisizione.*

### **3.2 Risultati delle prove**

Le prove sono state eseguite presso il Laboratorio di Prove e Materiali dell'Università di Trento nel periodo 17-27 luglio 2009. La temperatura dell'aria è risultata costante e pari a circa 27°C così come anche l'umidità relativa di circa il 65%.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati significativi delle prove. In particolare, per ogni serie e per ogni disposizione dei connettori, sono illustrati i seguenti risultati:

1. il valore del carico massimo stimato  $F_{est}$  con cui sono state eseguite le prove conformi alla norma UNI EN 26891/1991 (tale valore corrisponde al carico medio delle prove monotone);
2. una tabella con i principali dati sperimentali di ogni singola prova (organizzati per frazioni di  $F_{est}$ );
3. un grafico globale riportante l'andamento delle curve carico-scorrimento (unitarie, ovvero normalizzate rispetto il numero di connettori di ogni singolo campione) per ogni disposizione dei connettori;
4. le immagini più significative relative alle modalità di rottura osservate.

### 3.2.1 Campioni 1H 100A

A seguito delle due prove monotone si è assunto quale carico di collasso medio dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 165 \text{ kN}$$

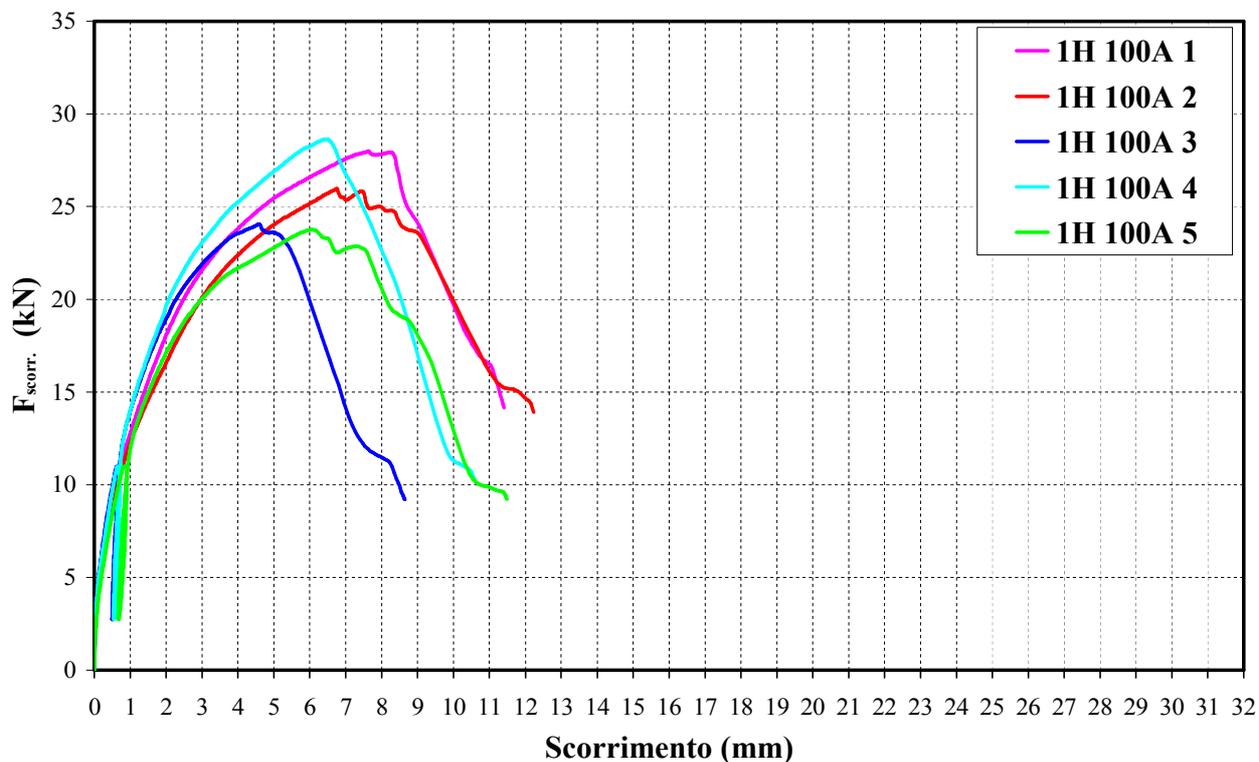
In Tabella 3.1 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.3 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

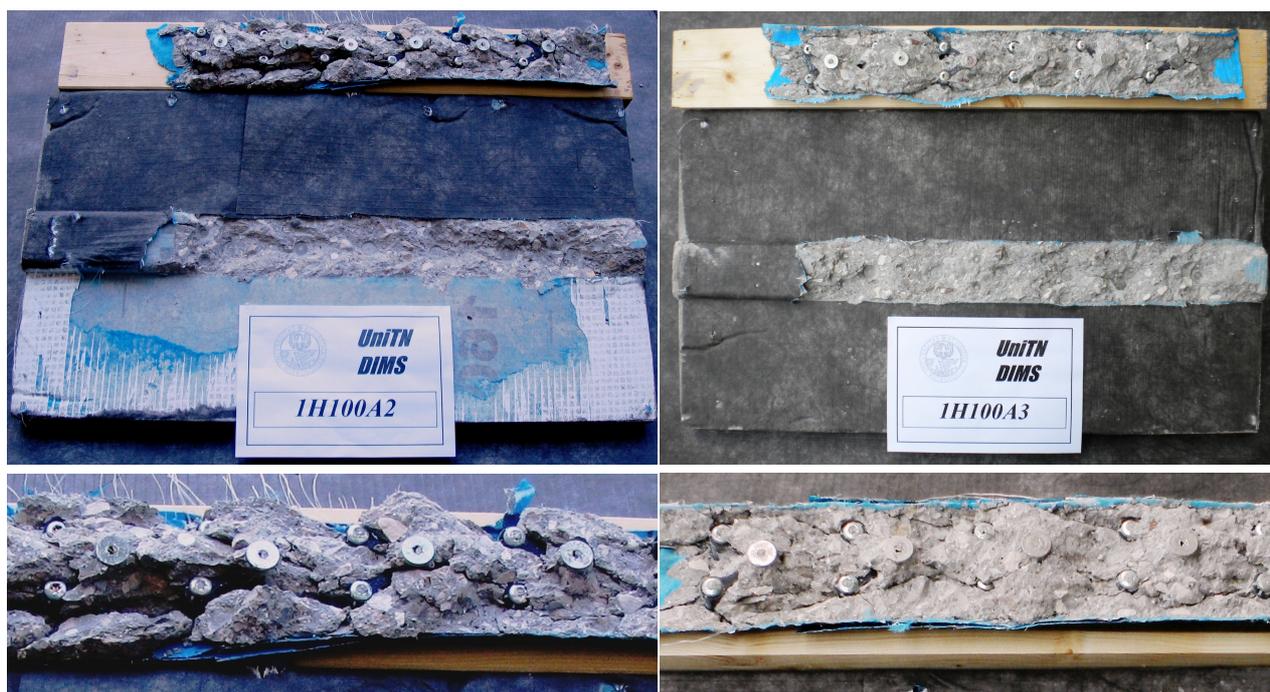
In Figura 3.4 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Dalle fotografie appare evidente la rottura per taglio della soletta di calcestruzzo in corrispondenza della nervatura.

*Tabella 3.1 – Curve sperimentali dei provini 1H 100A*

1H 100A 1 Prova monotona		1H 100A 2 Prova monotona		1H 100A 3 UNI EN 26891/1991		1H 100A 4 UNI EN 26891/1991		1H 100A 5 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	16,50	0,04	16,50	0,03	16,50	0,04	16,50	0,06	16,50
0,18	33,00	0,17	33,00	0,15	33,00	0,15	33,00	0,24	33,00
0,41	49,50	0,42	49,50	0,35	49,50	0,38	49,50	0,49	49,50
0,74	66,00	0,78	66,00	0,62	66,00	0,64	66,00	0,82	66,00
1,16	82,50	1,31	82,50	0,69	66,00	0,71	66,00	0,92	66,00
1,68	99,00	1,98	99,00	0,67	49,50	0,69	49,50	0,88	49,50
2,29	115,50	2,71	115,50	0,61	33,00	0,64	33,00	0,81	33,00
3,17	132,00	3,78	132,00	0,51	16,50	0,55	16,50	0,69	16,50
4,53	148,50	5,62	148,50	0,49	16,50	0,54	16,50	0,67	16,50
6,93	165,00	<b>6,75</b>	<b>155,84</b>	0,54	33,00	0,57	33,00	0,71	33,00
<b>7,66</b>	<b>167,88</b>	-	-	0,61	49,50	0,63	49,50	0,80	49,50
-	-	-	-	0,70	66,00	0,72	66,00	0,93	66,00
-	-	-	-	0,96	82,50	0,96	82,50	1,26	82,50
-	-	-	-	1,43	99,00	1,41	99,00	1,85	99,00
-	-	-	-	2,08	115,50	1,94	115,50	2,68	115,50
-	-	-	-	3,04	132,00	2,63	132,00	4,30	132,00
-	-	-	-	<b>4,59</b>	<b>144,36</b>	3,72	148,50	<b>6,01</b>	<b>142,48</b>
-	-	-	-	-	-	5,40	165,00	-	-
-	-	-	-	-	-	<b>6,44</b>	<b>171,72</b>	-	-



*Figura 3.3 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 1H 100A normalizzate rispetto al numero di connettori.*



*Figura 3.4 - Modalità di rottura di provini tipo 1H 100A.*

### 3.2.2 Campioni 1H 150A

A seguito delle due prove monotone si è assunto quale carico di collasso medio dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 110 \text{ kN}$$

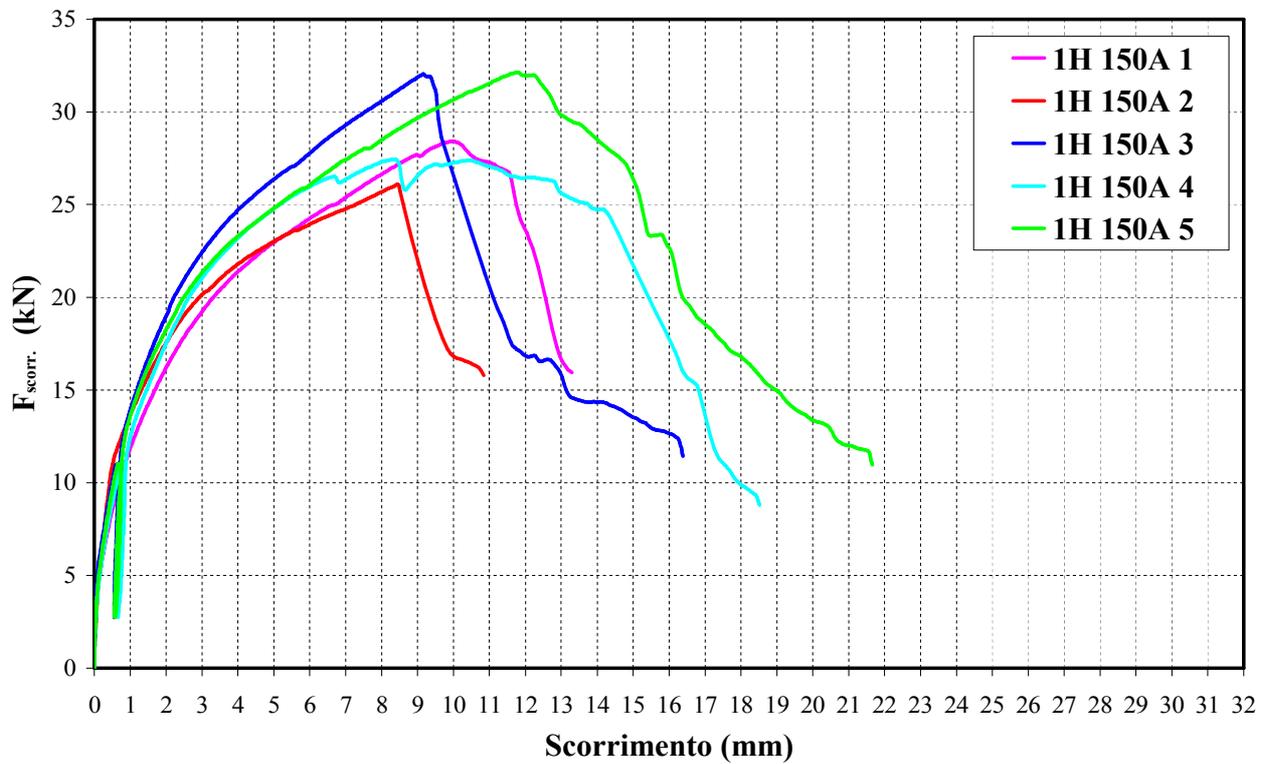
In Tabella 3.2 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.5 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

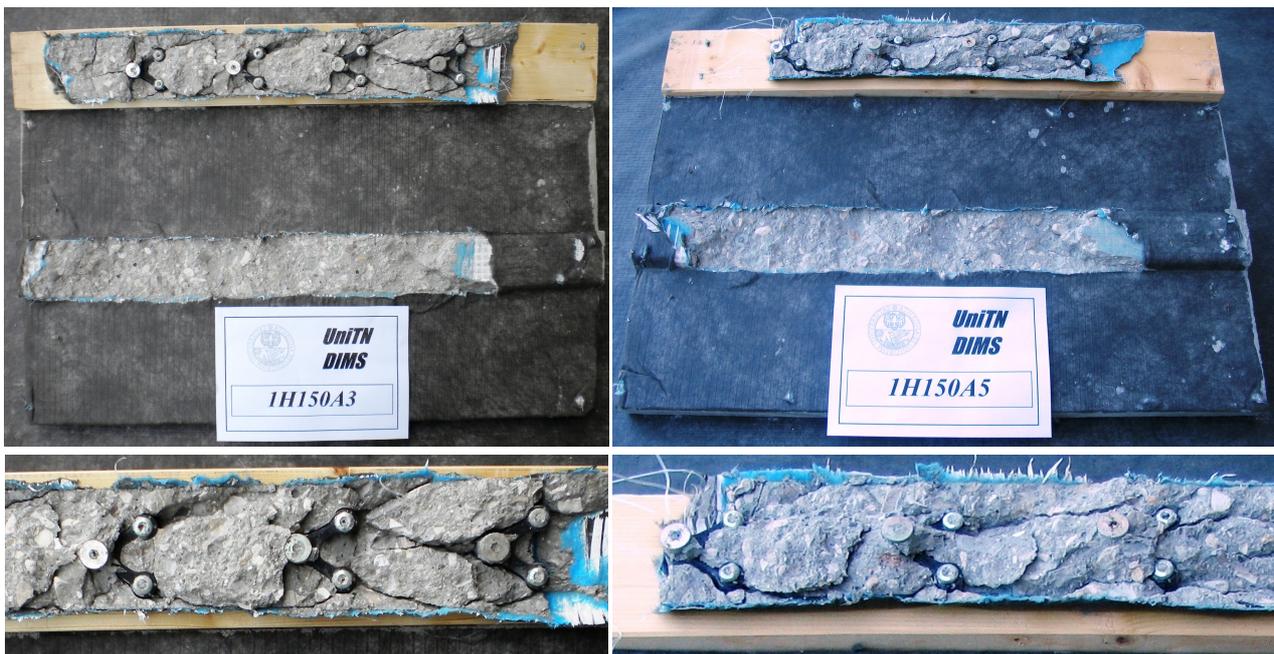
In Figura 3.6 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Dalle fotografie appare evidente la rottura per taglio della soletta di calcestruzzo rottura che coinvolge seppur in minima parte anche il connettore.

*Tabella 3.2 – Curve sperimentali dei provini 1H 150A*

1H 150A 1 Prova monotona		1H 150A 2 Prova monotona		1H 150A 3 UNI EN 26891/1991		1H 150A 4 UNI EN 26891/1991		1H 150A 5 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	11,00	0,05	11,00	0,03	11,00	0,04	11,00	0,04	11,00
0,18	22,00	0,15	22,00	0,11	22,00	0,18	22,00	0,16	22,00
0,46	33,00	0,31	33,00	0,34	33,00	0,43	33,00	0,38	33,00
0,84	44,00	0,50	44,00	0,61	44,00	0,76	44,00	0,66	44,00
1,38	55,00	1,01	55,00	0,70	44,00	0,86	44,00	0,74	44,00
2,07	66,00	1,68	66,00	0,68	33,00	0,83	33,00	0,72	33,00
3,00	77,00	2,57	77,00	0,64	22,00	0,76	22,00	0,67	22,00
4,37	88,00	4,13	88,00	0,57	11,00	0,66	11,00	0,58	11,00
6,41	99,00	6,97	99,00	0,55	11,00	0,64	11,00	0,57	11,00
8,75	110,00	<b>8,45</b>	<b>104,36</b>	0,58	22,00	0,68	22,00	0,60	22,00
<b>9,97</b>	<b>113,68</b>	-	-	0,64	33,00	0,76	33,00	0,67	33,00
-	-	-	-	0,71	44,00	0,87	44,00	0,76	44,00
-	-	-	-	0,97	55,00	1,21	55,00	1,03	55,00
-	-	-	-	1,45	66,00	1,77	66,00	1,55	66,00
-	-	-	-	2,06	77,00	2,44	77,00	2,28	77,00
-	-	-	-	2,85	88,00	3,40	88,00	3,30	88,00
-	-	-	-	4,02	99,00	4,99	99,00	4,95	99,00
-	-	-	-	5,82	110,00	<b>8,38</b>	<b>109,84</b>	7,07	110,00
-	-	-	-	7,75	121,00	-	-	9,58	121,00
-	-	-	-	<b>9,14</b>	<b>128,16</b>	-	-	<b>11,79</b>	<b>128,56</b>



*Figura 3.5 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 1H 150A normalizzate rispetto al numero di connettori.*



*Figura 3.6 - Modalità di rottura di provini tipo 1H 150A.*

### 3.2.3 Campioni 1H 200A

A seguito delle due prove monotone si è assunto quale carico di collasso medio dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 100 \text{ kN}$$

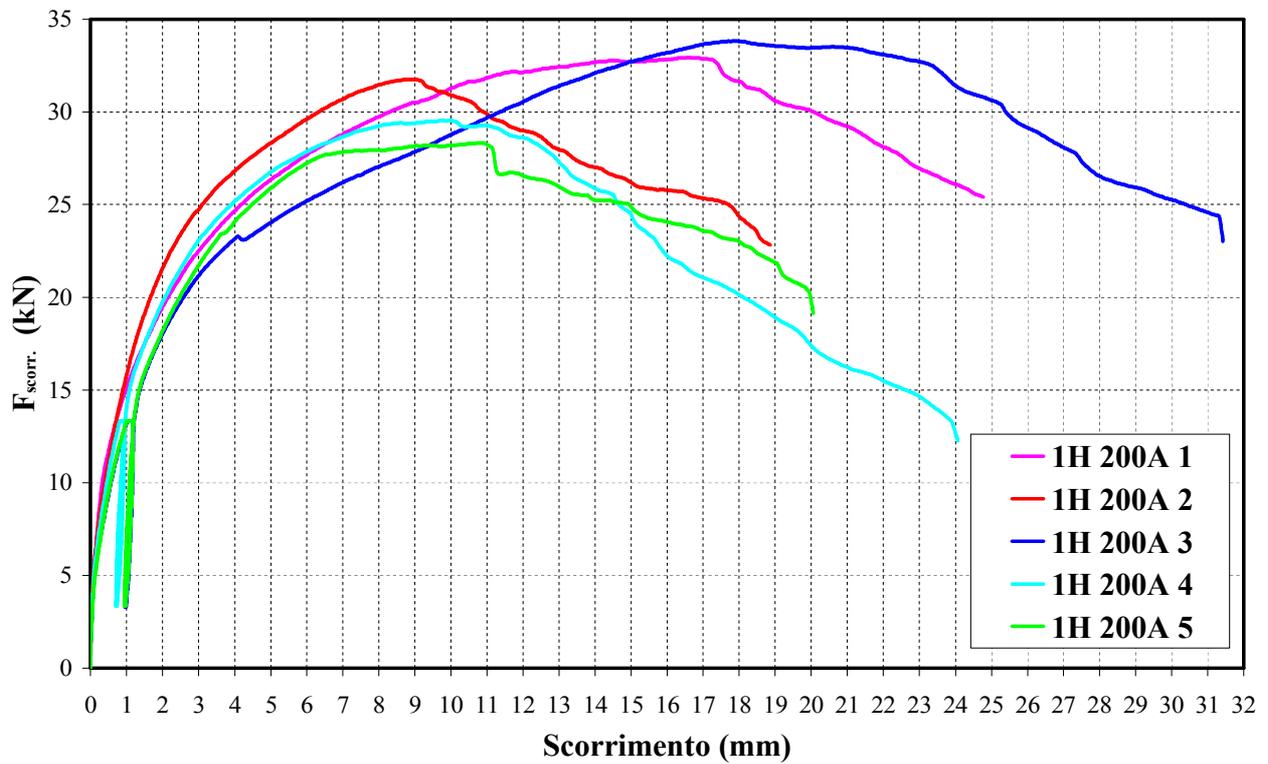
In Tabella 3.3 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.7 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.8 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Per questa tipologia di campioni si è riscontrata principalmente la rottura del connettore, questa tipologia di rottura garantisce una rottura più duttile consentendo spostamenti maggiori a rottura del provino, comportamento visibile anche dai tre grafici delle Figure 3.3-3.5-3.7.

*Tabella 3.3 – Curve sperimentali dei provini 1H 200A*

1H 200A 1 Prova monotona		1H 200A 2 Prova monotona		1H 200A 3 UNI EN 26891/1991		1H 200A 4 UNI EN 26891/1991		1H 200A 5 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	10,00	0,03	10,00	0,05	10,00	0,05	10,00	0,06	10,00
0,15	20,00	0,15	20,00	0,24	20,00	0,19	20,00	0,25	20,00
0,32	30,00	0,39	30,00	0,56	30,00	0,46	30,00	0,56	30,00
0,70	40,00	0,71	40,00	1,02	40,00	0,82	40,00	1,01	40,00
1,31	50,00	1,11	50,00	1,19	40,00	0,94	40,00	1,18	40,00
2,13	60,00	1,66	60,00	1,16	30,00	0,91	30,00	1,15	30,00
3,35	70,00	2,46	70,00	1,10	20,00	0,85	20,00	1,09	20,00
5,25	80,00	3,92	80,00	0,99	10,00	0,73	10,00	0,97	10,00
8,31	90,00	6,32	90,00	0,96	10,00	0,70	10,00	0,94	10,00
<b>16,56</b>	<b>98,76</b>	<b>8,73</b>	<b>95,28</b>	1,01	20,00	0,75	20,00	0,99	20,00
-	-	-	-	1,09	30,00	0,84	30,00	1,08	30,00
-	-	-	-	1,21	40,00	0,96	40,00	1,20	40,00
-	-	-	-	1,68	50,00	1,34	50,00	1,65	50,00
-	-	-	-	2,59	60,00	2,07	60,00	2,47	60,00
-	-	-	-	4,47	70,00	3,09	70,00	3,59	70,00
-	-	-	-	7,59	80,00	4,94	80,00	5,52	80,00
-	-	-	-	11,37	90,00	<b>9,72</b>	<b>88,60</b>	<b>10,83</b>	<b>85,00</b>
-	-	-	-	16,31	100,00	-	-	-	-
-	-	-	-	<b>17,85</b>	<b>101,48</b>	-	-	-	-



*Figura 3.7 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 1H 200A normalizzate rispetto al numero di connettori.*



*Figura 3.8 - Modalità di rottura di provini tipo 1H 200A.*

### 3.2.4 Campioni 1H 100S

A seguito delle due prove monotone si è assunto quale carico di collasso medio dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 175 \text{ kN}$$

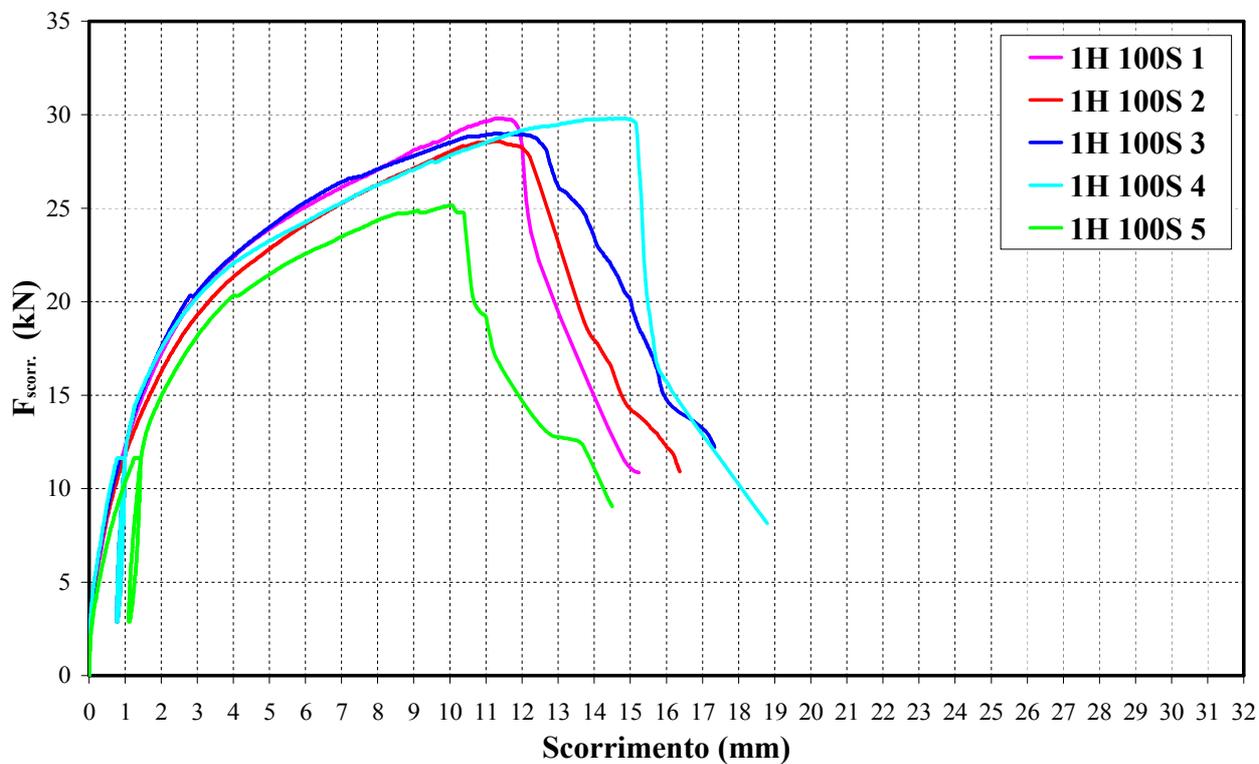
In Tabella 3.4 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.9 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

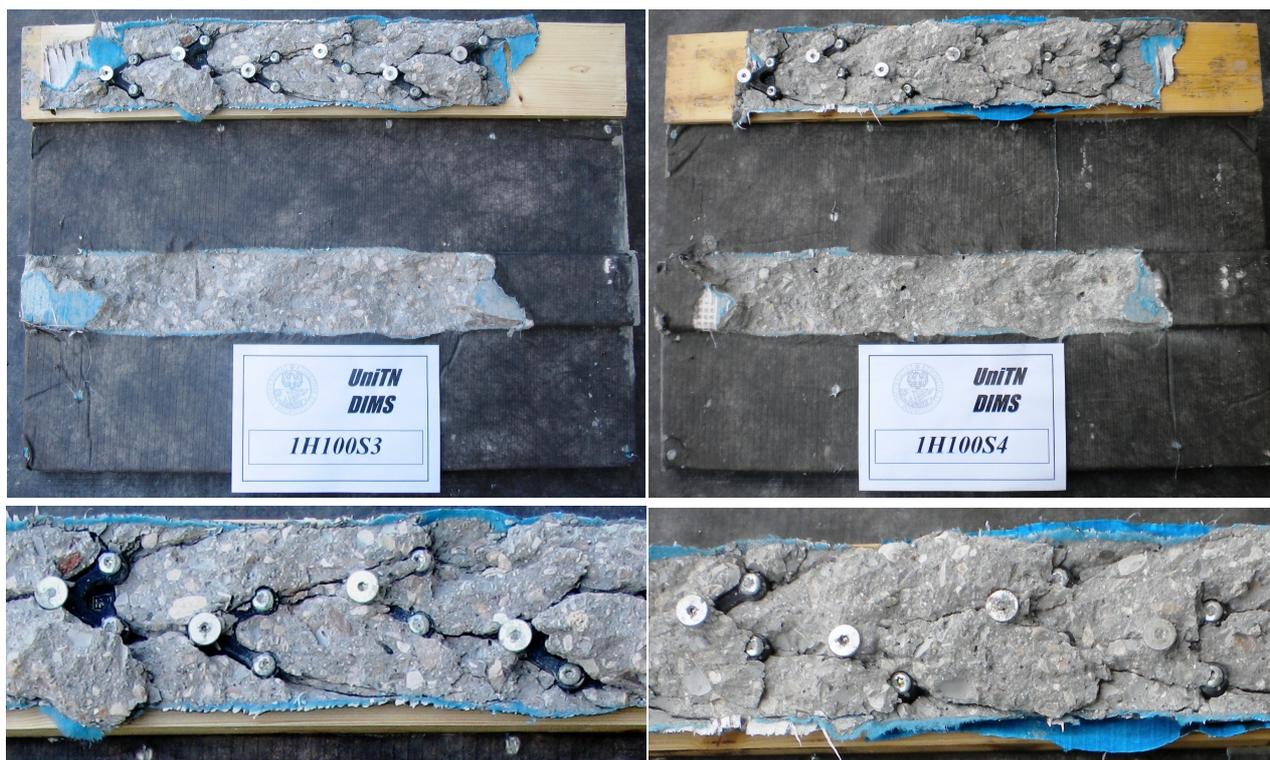
In Figura 3.10 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Per questa tipologia di campioni si è riscontrata la rottura parziale del connettore seguita dalla rottura a taglio del calcestruzzo, la posa sfalsata dei connettori fa sì che tale tipologia di campioni abbia un comportamento simili a quelli della serie 1H 150A.

*Tabella 3.4 – Curve sperimentali dei provini 1H 100S*

1H 100S 1 Prova monotona		1H 100S 2 Prova monotona		1H 100S 3 UNI EN 26891/1991		1H 100S 4 UNI EN 26891/1991		1H 100S 5 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	17,50	0,05	17,50	0,04	17,50	0,04	17,50	0,09	17,50
0,24	35,00	0,22	35,00	0,21	35,00	0,21	35,00	0,36	35,00
0,53	52,50	0,52	52,50	0,49	52,50	0,46	52,50	0,73	52,50
0,91	70,00	0,97	70,00	0,88	70,00	0,88	70,00	1,27	70,00
1,40	87,50	1,57	87,50	0,98	70,00	0,98	70,00	1,42	70,00
2,07	105,00	2,35	105,00	0,96	52,50	0,96	52,50	1,38	52,50
3,01	122,50	3,49	122,50	0,90	35,00	0,90	35,00	1,30	35,00
4,58	140,00	5,35	140,00	0,79	17,50	0,79	17,50	1,13	17,50
7,13	157,50	7,98	157,50	0,77	17,50	0,77	17,50	1,09	17,50
10,28	175,00	<b>11,23</b>	<b>171,52</b>	0,81	35,00	0,81	35,00	1,16	35,00
<b>11,34</b>	<b>178,80</b>	-	-	0,89	52,50	0,89	52,50	1,28	52,50
-	-	-	-	0,99	70,00	0,99	70,00	1,44	70,00
-	-	-	-	1,34	87,50	1,30	87,50	1,91	87,50
-	-	-	-	1,99	105,00	2,01	105,00	2,75	105,00
-	-	-	-	2,97	122,50	3,08	122,50	4,22	122,50
-	-	-	-	4,55	140,00	5,08	140,00	6,86	140,00
-	-	-	-	6,85	157,50	8,02	157,50	<b>10,01</b>	<b>150,88</b>
-	-	-	-	<b>11,25</b>	<b>174,00</b>	12,05	175,00	-	-
-	-	-	-	-	-	<b>14,84</b>	<b>178,72</b>	-	-



*Figura 3.9 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 1H 100S normalizzate rispetto al numero di connettori.*



*Figura 3.10 - Modalità di rottura di provini tipo 1-H-100S.*

### 3.2.5 Campioni 2H 100AS

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{\text{est}} = 150 \text{ kN}$$

In Tabella 3.5 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{\text{est}}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.11 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini della stessa serie normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.12 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Dalle fotografie si può osservare la rottura del connettore in resina con la formazione di fessure. La squadretta non è giunta a collasso ma invece ha inciso e strappato le fibre dell'assito. Le viti di fissaggio del connettore si sono considerevolmente inflesse. La soletta di calcestruzzo invece non ha dato segni di collasso.

*Tabella 3.5 – Curve sperimentali dei provini 2H 100AS*

2H 100AS 1 Prova monotona		2H 100AS 2 UNI EN 26891/1991		2H 100AS 3 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,21	15,00	0,10	15,00	0,12	15,00
0,76	30,00	0,39	30,00	0,49	30,00
1,48	45,00	1,07	45,00	1,12	45,00
2,46	60,00	1,99	60,00	1,92	60,00
3,76	75,00	2,24	60,00	2,09	60,00
5,24	90,00	2,17	45,00	2,02	45,00
7,06	105,00	2,04	30,00	1,89	30,00
9,38	120,00	1,81	15,00	1,59	15,00
12,15	135,00	1,77	15,00	1,55	15,00
<b>16,00</b>	<b>144,60</b>	1,87	30,00	1,65	30,00
-	-	2,02	45,00	1,83	45,00
-	-	2,31	60,00	2,15	60,00
-	-	3,20	75,00	2,89	75,00
-	-	4,70	90,00	4,06	90,00
-	-	7,16	105,00	5,74	105,00
-	-	9,96	120,00	8,24	120,00
-	-	13,22	135,00	11,10	135,00
-	-	18,17	150,00	<b>16,67</b>	<b>149,84</b>
-	-	<b>21,35</b>	<b>156,28</b>	-	-

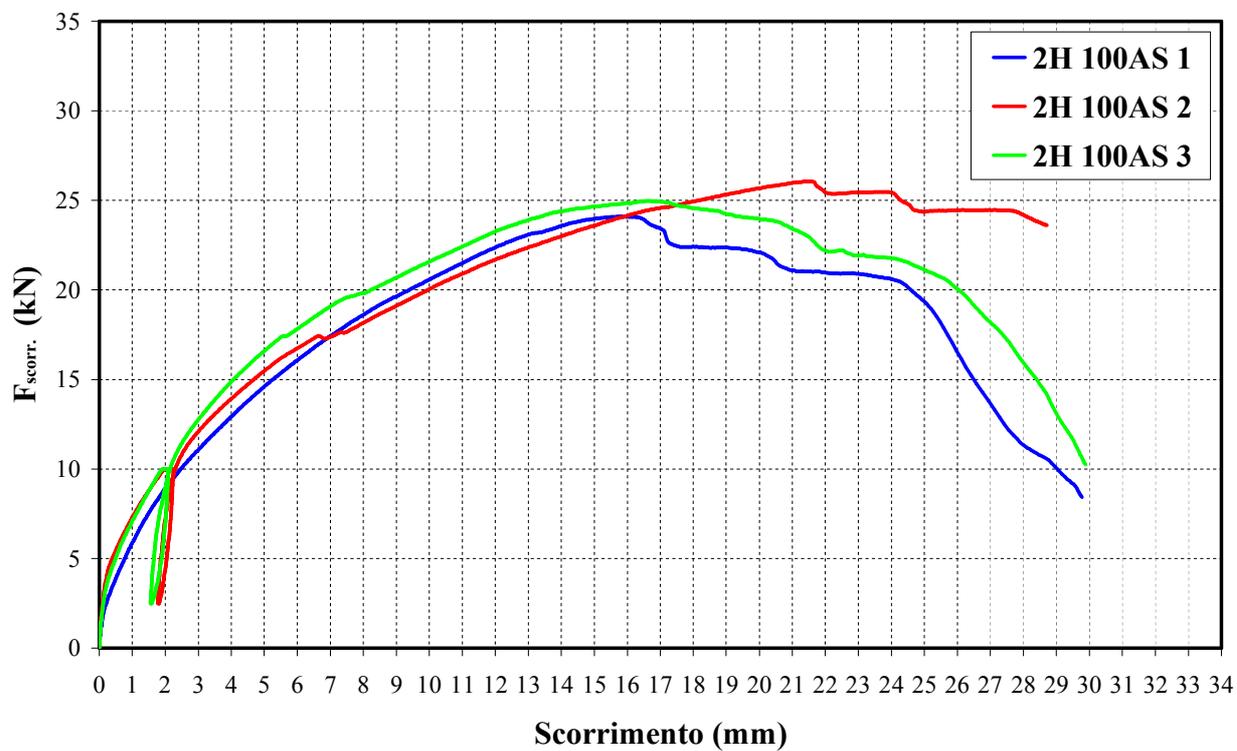


Figura 3.11 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 100AS normalizzate rispetto al numero di connettori



Figura 3.12 - Modalità di rottura di provini tipo 2H 100AS.

### 3.2.6 Campioni 2H 150AS

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 110 \text{ kN}$$

In Tabella 3.6 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.13 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.14 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata, Dalle fotografie appare che i campioni di questa serie hanno mostrato i medesimi meccanismi di collasso già descritti al § 3.2.5.

**Tabella 3.6** – Curve sperimentali dei provini 2H 150AS

2H 150AS 1 Prova monotona		2H 150AS 2 UNI EN 26891/1991		2H 150AS 3 UNI EN 26891/1991	
<b>v (mm)</b>	<b>F (kN)</b>	<b>v (mm)</b>	<b>F (kN)</b>	<b>v (mm)</b>	<b>F (kN)</b>
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,13	11,00	0,14	11,00	0,1635	11,00
0,58	22,00	0,49	22,00	0,8925	22,00
1,44	33,00	1,19	33,00	2,0355	33,00
2,68	44,00	2,14	44,00	3,5325	44,00
4,23	55,00	2,38	44,00	3,7995	44,00
6,02	66,00	2,31	33,00	3,7125	33,00
8,16	77,00	2,18	22,00	3,5325	22,00
11,03	88,00	1,91	11,00	3,144	11,00
15,12	99,00	1,88	11,00	3,0885	11,00
<b>21,63</b>	<b>105,16</b>	1,98	22,00	3,234	22,00
-	-	2,15	33,00	3,4815	33,00
-	-	2,45	44,00	3,8805	44,00
-	-	3,38	55,00	4,9875	55,00
-	-	4,95	66,00	6,8055	66,00
-	-	7,40	77,00	9,5775	77,00
-	-	10,11	88,00	12,781	88,00
-	-	13,29	99,00	16,875	99,00
-	-	17,11	110,00	<b>22,812</b>	<b>102,68</b>
-	-	<b>20,37</b>	<b>115,60</b>	-	-

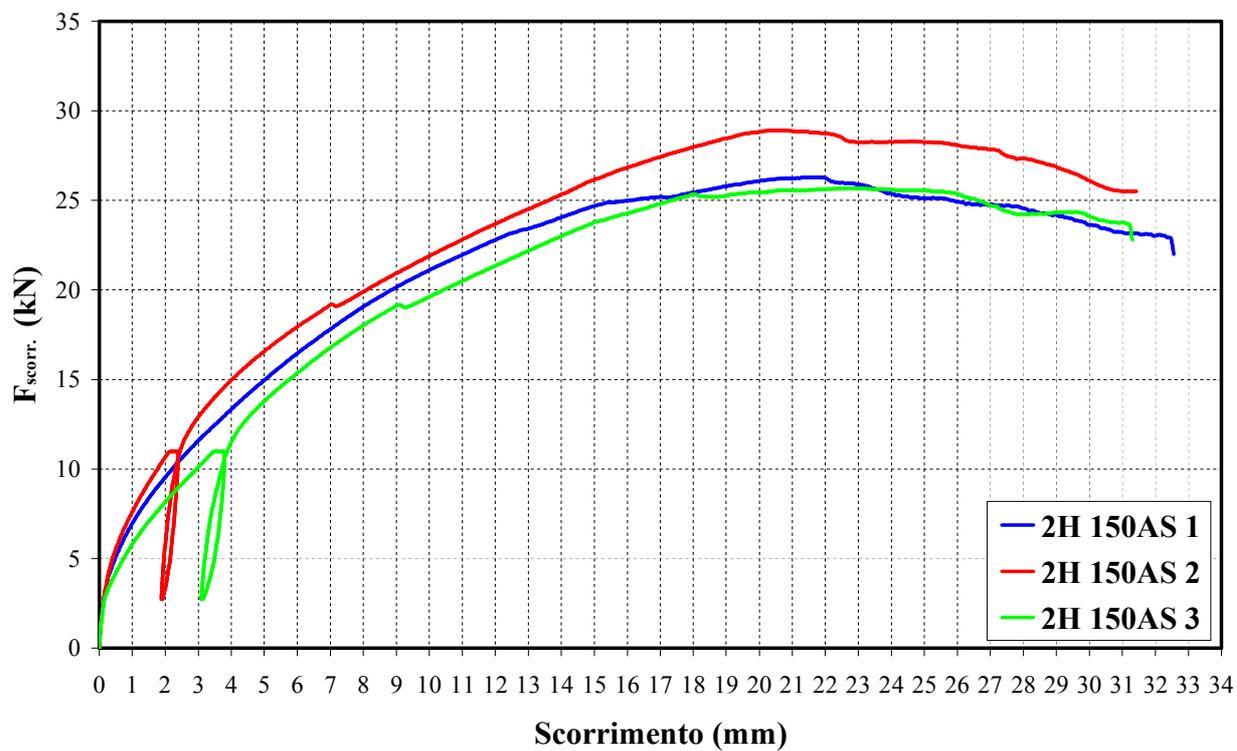


Figura 3.13 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 150AS normalizzate rispetto al numero di connettori.



Figura 3.14 - Modalità di rottura di provini tipo 2H 150AS.

### 3.2.7 Campioni 2H 200 AS

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 90 \text{ kN}$$

In Tabella 3.7 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.15 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.16 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Anche i campioni di questa serie hanno mostrato i meccanismi di collasso già descritti al § 3.2.5.

*Tabella 3.7 – Curve sperimentali dei provini 2H 200AS*

2H 200AS 1 Prova monotona		2H 200AS 2 UNI EN 26891/1991		2H 200AS 3 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,15	9,00	0,15	9,00	0,13	9,00
0,70	18,00	0,71	18,00	0,71	18,00
1,62	27,00	1,54	27,00	1,66	27,00
2,80	36,00	2,62	36,00	3,00	36,00
4,44	45,00	2,91	36,00	3,38	36,00
6,78	54,00	2,83	27,00	3,31	27,00
9,89	63,00	2,64	18,00	3,14	18,00
14,66	72,00	2,35	9,00	2,75	9,00
<b>22,16</b>	<b>79,36</b>	2,32	9,00	2,70	9,00
-	-	2,45	18,00	2,83	18,00
-	-	2,66	27,00	3,08	27,00
-	-	2,97	36,00	3,46	36,00
-	-	3,83	45,00	4,64	45,00
-	-	5,16	54,00	6,67	54,00
-	-	7,02	63,00	9,86	63,00
-	-	9,36	72,00	13,37	72,00
-	-	12,27	81,00	17,30	81,00
-	-	<b>18,61</b>	<b>89,96</b>	<b>20,41</b>	<b>84,80</b>

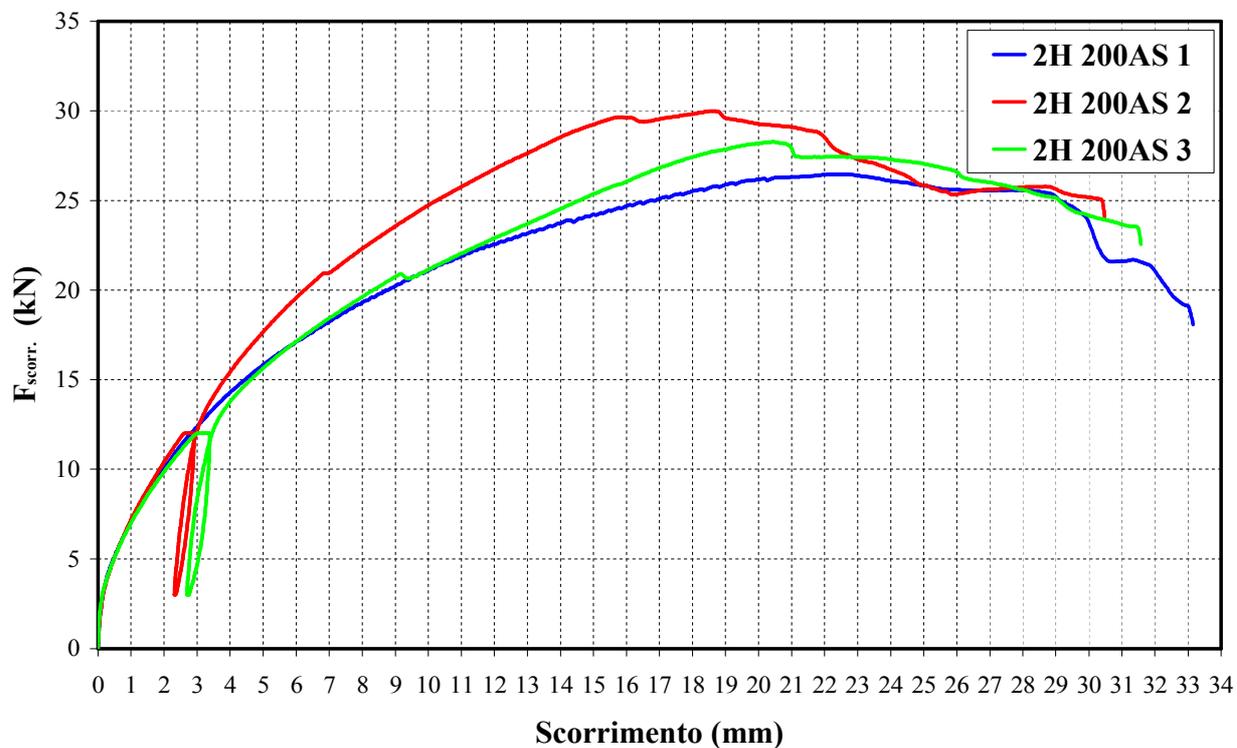


Figura 3.15 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 200AS normalizzate rispetto al numero di connettori.

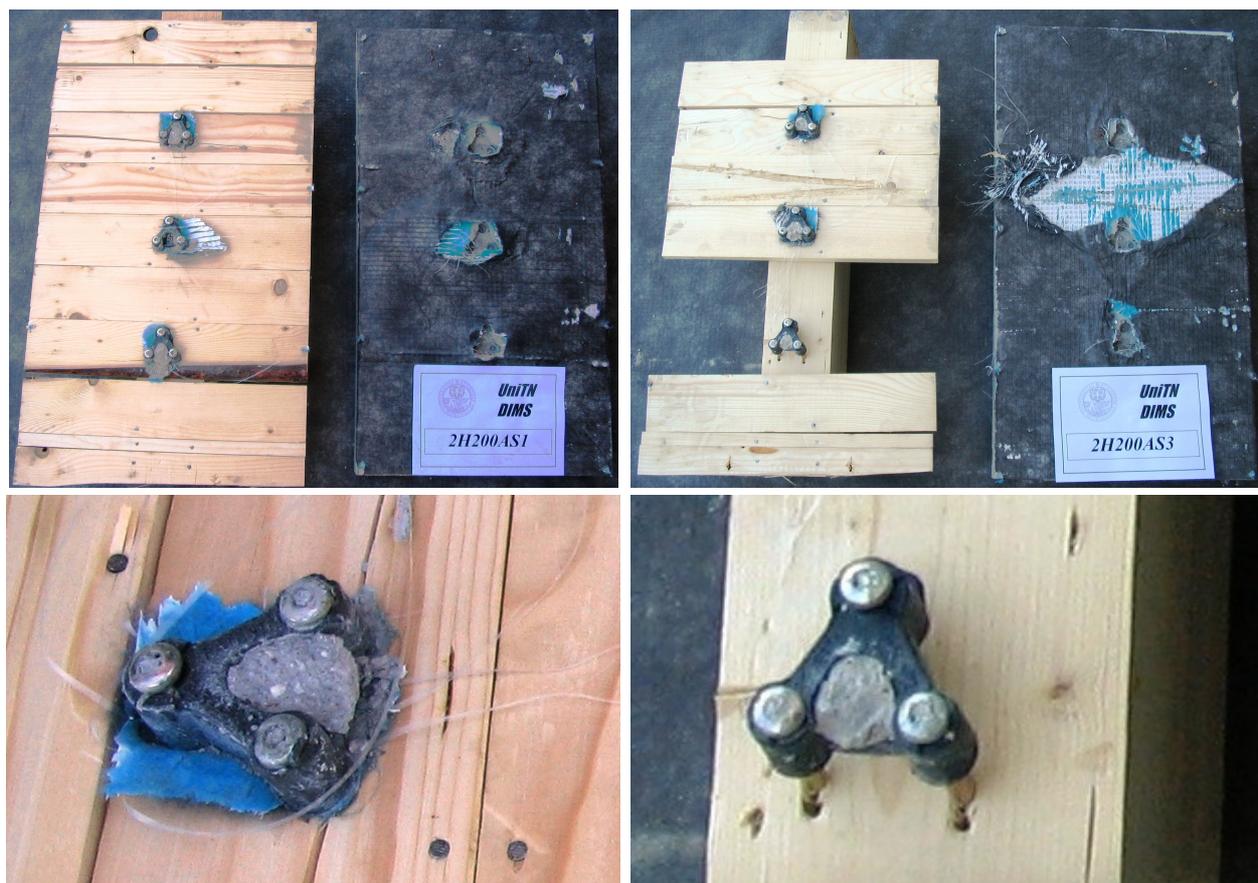


Figura 3.16 - Modalità di rottura di provini tipo 2H 200AS.

### 3.2.8 Campioni 2H 100AP

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 140 \text{ kN}$$

In Tabella 3.8 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.17 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.18 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Dalle fotografie appare evidente la rottura della parte superiore del connettore in resina con la formazione di fessure dovute allo sforzo tagliante. Il perno in resina dei connettori si è significativamente deformato e la testa dello stesso ha subito una rotazione relativa rispetto alla parte superiore del connettore. Le viti di fissaggio del connettore si sono inflesse in modo significativo. La soletta di calcestruzzo invece non ha dato segni di collasso.

**Tabella 3.8** – Curve sperimentali dei provini 2H 100AP

2H 100AP 1 Prova monotona		2H 100AP 2 UNI EN 26891/1991		2H 100AP 3 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	14,00	0,09	14,00	0,11	14,00
0,28	28,00	0,34	28,00	0,39	28,00
0,74	42,00	0,78	42,00	0,92	42,00
1,34	56,00	1,38	56,00	1,61	56,00
2,10	70,00	1,51	56,00	1,76	56,00
3,05	84,00	1,46	42,00	1,70	42,00
4,38	98,00	1,35	28,00	1,59	28,00
6,37	112,00	1,11	14,00	1,37	14,00
10,01	126,00	1,08	14,00	1,34	14,00
<b>17,28</b>	<b>133,52</b>	1,16	28,00	1,43	28,00
-	-	1,31	42,00	1,56	42,00
-	-	1,54	56,00	1,80	56,00
-	-	2,10	70,00	2,42	70,00
-	-	2,98	84,00	3,37	84,00
-	-	4,10	98,00	4,64	98,00
-	-	5,83	112,00	6,49	112,00
-	-	8,68	126,00	9,79	126,00
-	-	12,75	140,00	<b>14,68</b>	<b>134,00</b>
-	-	<b>17,12</b>	<b>147,60</b>	-	-

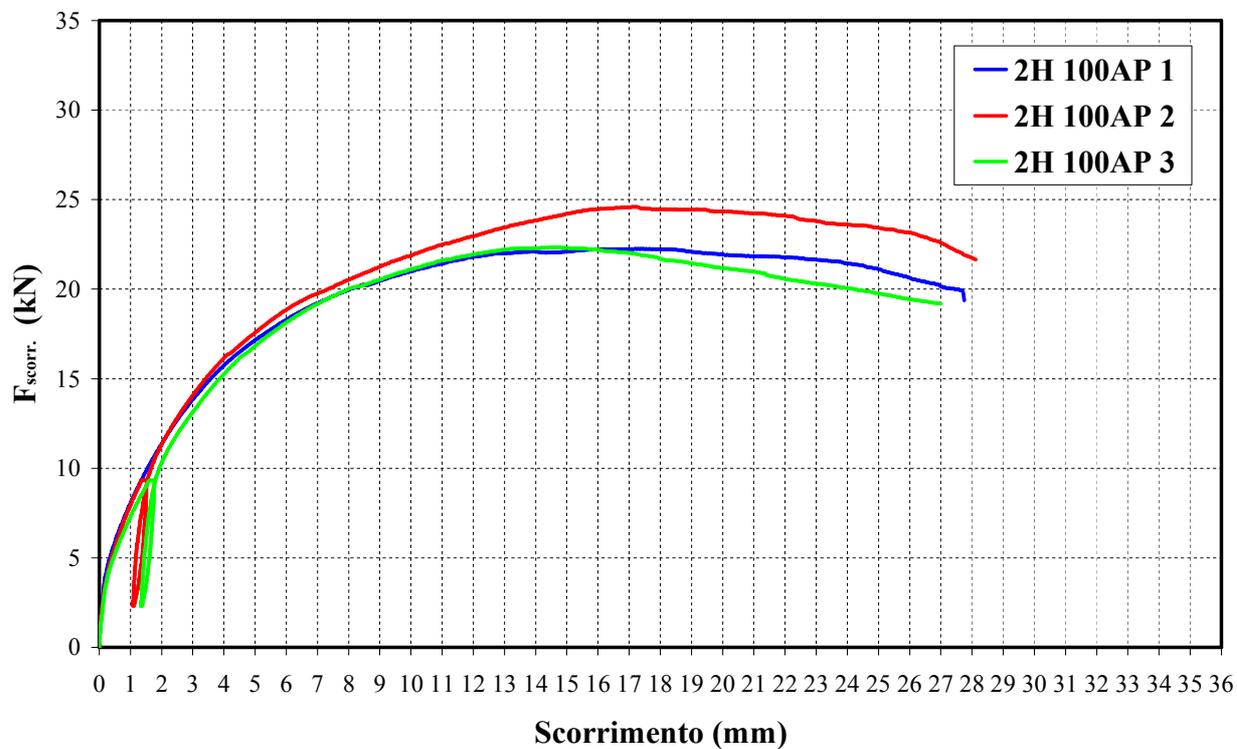


Figura 3.17 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 100AP normalizzate rispetto al numero di connettori



Figura 3.18 - Modalità di rottura di provini tipo 2H 100AP.

### 3.2.9 Campioni 2H 150AP

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 130 \text{ kN}$$

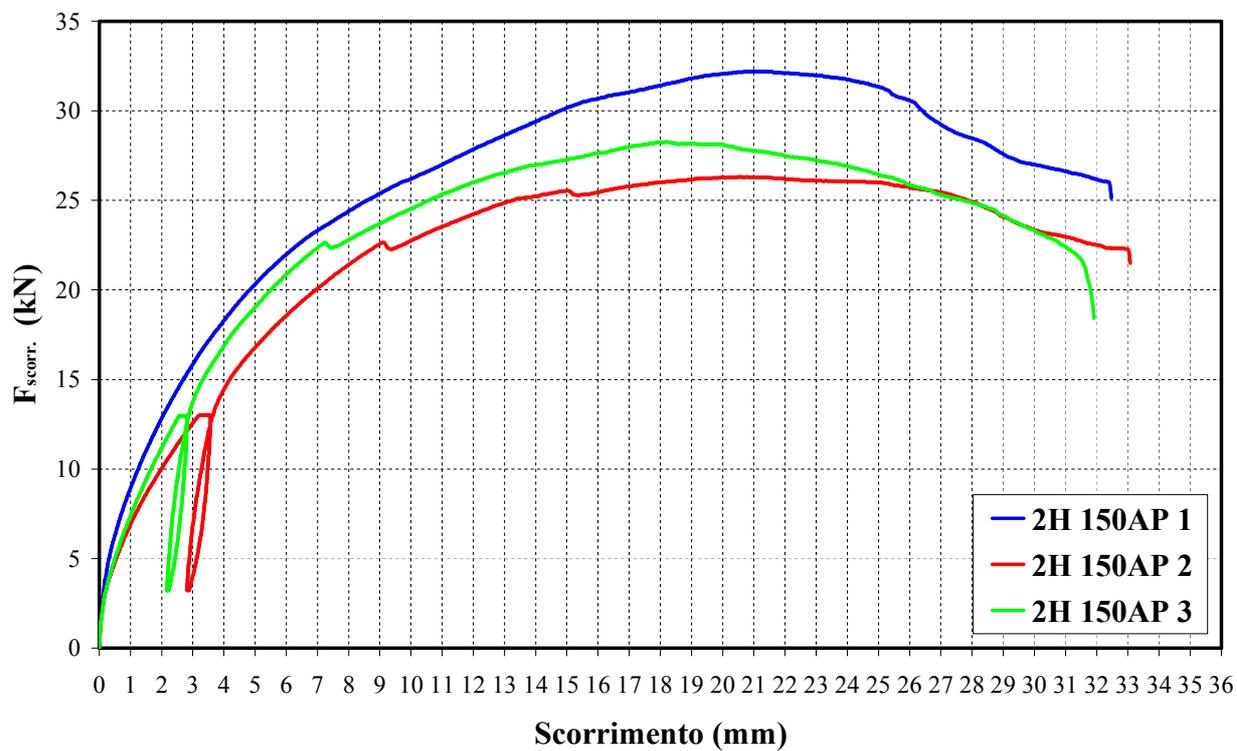
In Tabella 3.9 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a 0,1  $F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.19 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

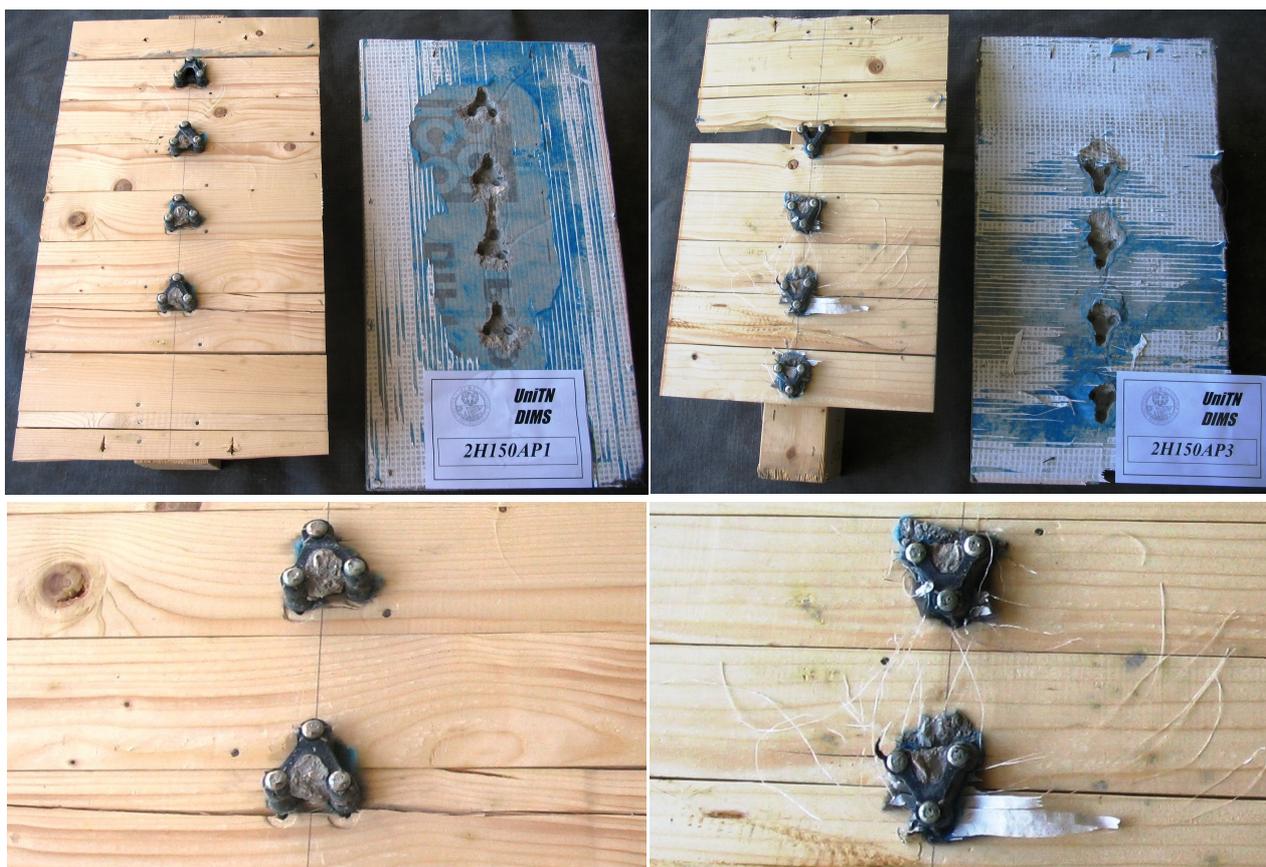
In Figura 3.20 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Dalle fotografie appare evidente che i campioni di questa serie hanno mostrato i medesimi meccanismi di collasso già descritti al § 3.2.8.

**Tabella 3.9** – Curve sperimentali dei provini 2H 150AP

<b>2H 150AP 1</b> Prova monotona		<b>2H 150AP 2</b> UNI EN 26891/1991		<b>2H 150AP 3</b> UNI EN 26891/1991	
<b>v</b> <b>(mm)</b>	<b>F</b> <b>(kN)</b>	<b>v</b> <b>(mm)</b>	<b>F</b> <b>(kN)</b>	<b>v</b> <b>(mm)</b>	<b>F</b> <b>(kN)</b>
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,14	13,00	0,22	13,00	0,21	13,00
0,52	26,00	0,89	26,00	0,80	26,00
1,18	39,00	1,90	39,00	1,59	39,00
2,04	52,00	3,21	52,00	2,58	52,00
3,14	65,00	3,56	52,00	2,81	52,00
4,56	78,00	3,47	39,00	2,73	39,00
6,52	91,00	3,27	26,00	2,55	26,00
9,68	104,00	2,87	13,00	2,22	13,00
13,81	117,00	2,82	13,00	2,17	13,00
<b>20,98</b>	<b>128,76</b>	2,98	26,00	2,30	26,00
-	-	3,25	39,00	2,53	39,00
-	-	3,64	52,00	2,86	52,00
-	-	4,73	65,00	3,76	65,00
-	-	6,60	78,00	5,23	78,00
-	-	9,98	91,00	7,96	91,00
-	-	18,00	104,00	12,00	104,00
-	-	<b>20,49</b>	<b>105,20</b>	<b>18,20</b>	<b>113,04</b>



**Figura 3.19** – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 150AP normalizzate rispetto al numero di connettori Curva sperimentale.



**Figura 3.20** - Modalità di rottura di provini tipo 2H 150AP.

### 3.2.10 Campioni 2H 200AP

A seguito della prova monotona si è assunto quale carico di collasso stimato dei campioni per le prove secondo la UNI EN 26891 il seguente valore:

$$F_{est} = 90 \text{ kN}$$

In Tabella 3.10 sono riportati i punti della curva carico-scorrimento relativi a variazioni del carico pari a  $0,1 F_{est}$  considerando, ove presente, il ciclo di scarico e carico. Gli ultimi valori riportati nelle colonne della tabella (evidenziati in grassetto), corrispondono al carico ultimo dei campioni.

Il grafico di Figura 3.21 riporta invece gli andamenti delle curve carico-scorrimento dei vari provini normalizzati rispetto al numero di connettori.

In Figura 3.22 sono riportate quattro immagini relative a due provini a prova ultimata. Anche i campioni di questa serie hanno mostrato i meccanismi di collasso già descritti al § 3.2.8.

*Tabella 3.10 – Curve sperimentali dei provini 2H 200AP*

2H 200AP 1 Prova monotona		2H 200AP 2 UNI EN 26891/1991		2H 200AP 3 UNI EN 26891/1991	
v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)	v (mm)	F (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,14	9,00	0,21	9,00	0,16	9,00
0,59	18,00	0,73	18,00	0,59	18,00
1,43	27,00	1,44	27,00	1,18	27,00
2,50	36,00	2,39	36,00	1,92	36,00
3,68	45,00	2,60	36,00	2,09	36,00
5,19	54,00	2,52	27,00	2,02	27,00
7,29	63,00	2,33	18,00	1,88	18,00
10,26	72,00	1,97	9,00	1,63	9,00
14,80	81,00	1,92	9,00	1,59	9,00
<b>17,98</b>	<b>83,20</b>	2,06	18,00	1,69	18,00
-	-	2,32	27,00	1,86	27,00
-	-	2,66	36,00	2,13	36,00
-	-	3,41	45,00	2,80	45,00
-	-	4,58	54,00	3,80	54,00
-	-	6,11	63,00	5,21	63,00
-	-	8,17	72,00	7,17	72,00
-	-	11,00	81,00	10,11	81,00
-	-	15,25	90,00	14,72	90,00
-	-	<b>26,09</b>	<b>97,04</b>	<b>19,27</b>	<b>95,04</b>

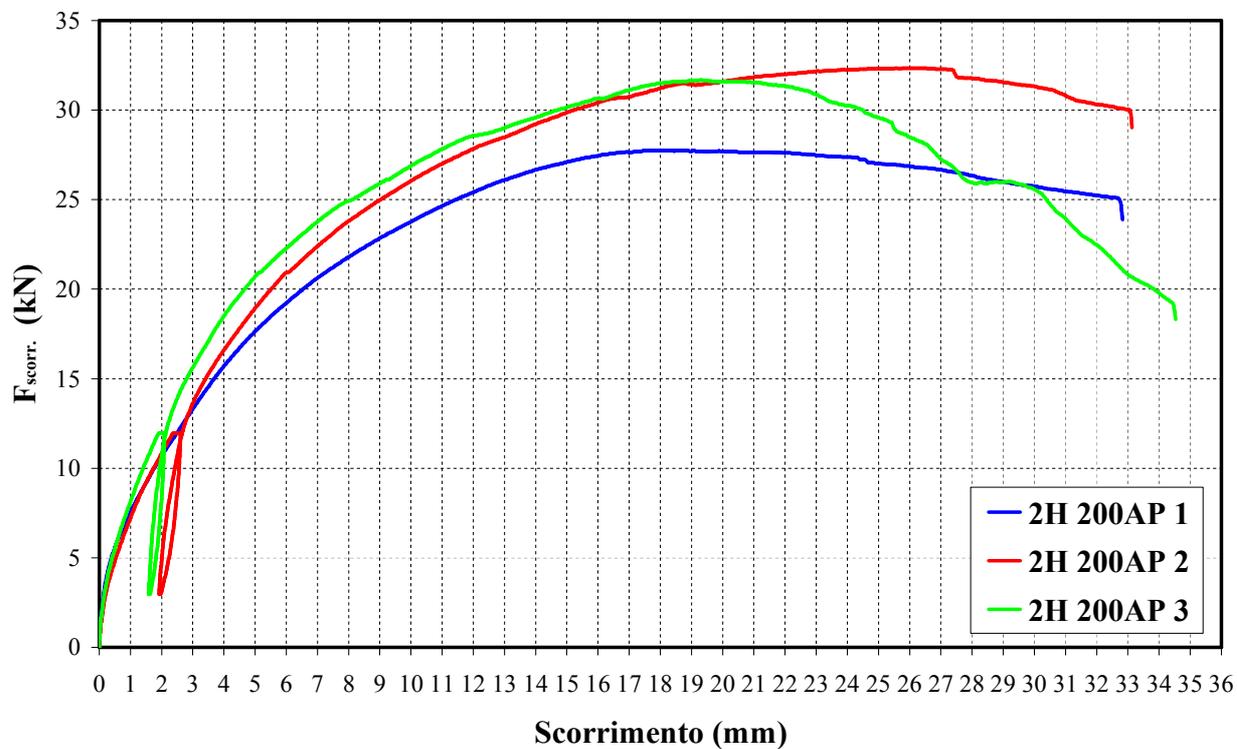


Figura 3.21 – Curve sperimentali Forza-Scorrimento provini 2H 200AP normalizzate rispetto al numero di connettori.



Figura 3.22 - Modalità di rottura di provini tipo 2H 200AP.

## 4. Interpretazione dei risultati

In questo capitolo vengono presentate le elaborazioni effettuate al fine della definizione dei valori dei parametri progettuali necessari per la progettazione di solai collaboranti legno-calcestruzzo con connettori POWER SISTEM “V”®.

Inizialmente è illustrata la metodologia di analisi dei risultati e successivamente la derivazione dei parametri progettuali.

I parametri progettuali sono determinati per ogni serie sia considerando a se stante le singole disposizioni dei connettori (ovvero tenendo conto del passo fra i connettori), sia considerando tutti i campioni della stessa serie come un insieme omogeneo (ovvero non considerando l’influenza del passo fra i connettori).

### 4.1 Metodologia di elaborazione dei dati

Per la progettazione agli Stati Limite dei solai misti legno-calcestruzzo con connettori cedevoli, il progettista deve conoscere i valori dei parametri fondamentali che caratterizzano il comportamento meccanico della connessione. Tali parametri sono:

1. la resistenza caratteristica;
2. la rigidezza del connettore allo stato limite ultimo,  $K_u$ ;
3. la rigidezza del connettore allo stato limite di servizio,  $K_{ser}$ ;

La resistenza caratteristica dei connettori è necessaria per la verifica della resistenza del connettore più sollecitato. Essa è definita come il frattile inferiore (0,05) della distribuzione statistica delle resistenze sperimentali (ovvero quel valore che ha solo il 5% di probabilità di essere superato, in senso negativo, dai valori di resistenza della popolazione).

Assumendo che le resistenze abbiano una dispersione statistica descrivibile secondo la legge di distribuzione di Gauss, il valore caratteristico è dato dalla seguente formula:

$$R_k = R_m - k \cdot \sigma \quad (4.1)$$

dove  $R_m$  è la resistenza media dei connettori (ottenuta come media aritmetica dei risultati sperimentali),  $k$  è un coefficiente che dipende dal numero di prove effettuate,  $\sigma$  è la deviazione standard del campione di dati.

La rigidezza della connessione sia allo Stato Limite Ultimo che allo Stato Limite di Esercizio è necessaria per il calcolo rispettivamente dello stato di sollecitazione e dello stato di deformazione nelle travi composte.

Innanzitutto è bene precisare che se la legge carico-scorrimento dei connettori fosse elastica lineare fino al collasso, non si avrebbe la necessità di definire differenti valori di rigidezza in funzione dello stato limite considerato in quanto essa sarebbe costante.

Siccome invece la legge carico-scorrimento dei connettori è in genere non-lineare, la rigidezza (secante) della connessione dipende dal livello della sollecitazione nei connettori, ovvero dallo stato limite preso in considerazione.

Il livello di sollecitazione non è a rigori definibile in quanto dipende da differenti fattori, alcuni dei quali oggettivi altri soggettivi. Se non è possibile definire a priori il livello di sollecitazione nei connettori per i differenti stati limite, è tuttavia possibile stimare i valori di sollecitazione più elevati.

Con riferimento allo Stato Limite Ultimo, la sollecitazione massima non può superare la resistenza di calcolo del connettore, definita secondo la seguente formula:

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{M,\text{conn}}} \quad (4.2)$$

dove  $k_{\text{mod}}$  è un coefficiente che tiene conto della classe di durata dei carichi presenti nella combinazione di carico e della Classe di Servizio dell'elemento strutturale (ovvero del contenuto di umidità del legno),  $\gamma_{M,\text{conn}}$  invece è il coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza del connettore.

Tali coefficienti sono riportati nella norma Europea per le Strutture in legno (UNI EN 1995-1-1:2009) e nella recente norma Italiana per le Costruzioni (Norme Tecniche per le Costruzioni: D.M. 14 gennaio 2008). La Tabella 4.1 illustra i valori delle due normative. Per quanto riguarda  $k_{\text{mod}}$  sono riportati soltanto i valori relativi alle Classi di Servizio 1 & 2 che corrispondono ai valori di umidità del legno tipici delle strutture coperte.

**Tabella 4.1 – Coefficienti  $k_{\text{mod}}$  e  $\gamma_{M,\text{conn}}$**

		<b>N T C D.M. 14.1.2008</b>	<b>UNI EN 1995-1-1 2009</b>
$k_{\text{mod}}$	Classe di durata dei carichi (Classi di Servizio 1 & 2)	Permanenti	0,6
		Lunga durata	0,7
		Media durata	0,8
		Breve durata	0,9
		Istantanei	1,0
$\gamma_{M,\text{conn}}$		1,5	1,3

Dalla Tabella 4.1 appare evidente che per la normativa italiana e per quella europea, la resistenza di calcolo dei connettori allo stato limite ultimo è compresa fra i seguenti valori:

$$\begin{aligned}
 \text{NTC 2008} & \left\{ \begin{aligned} R_{d,\max} &= 0,60 R_k && \text{carichi istantanei} \\ R_{d,\min} &= 0,40 R_k && \text{carichi permanenti} \end{aligned} \right. \\
 \text{EC5 2009} & \left\{ \begin{aligned} R_{d,\max} &= 0,69 R_k && \text{carichi istantanei} \\ R_{d,\min} &= 0,46 R_k && \text{carichi permanenti} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

mentre i valori medi risultano:

$$\begin{aligned}
 \text{NTC 2008} & \left\{ \begin{aligned} R_{d,\text{med}} &= S_{V,SLU} = 0,5 R_k \\ \text{EC5 2009} & \left\{ \begin{aligned} R_{d,\text{med}} &= S_{V,SLU} \approx 0,6 R_k \end{aligned} \right. \end{aligned} \right. \tag{4.3}
 \end{aligned}$$

I valori medi dei livelli di sollecitazione massimi sopra determinati possono essere considerati valori rappresentativi del livello di sollecitazione nei connettori allo Stato Limite Ultimo e quindi utilizzati per la determinazione dei valori della rigidezza della connessione per tale stato limite ( $k_u$ ).

Con riferimento allo Stato Limite di Esercizio, il livello di sollecitazione rappresentativo nei connettori può determinarsi sulla base dei precedenti valori relativi allo Stato Limite Ultimo.

Allo Stato Limite di Esercizio la combinazione di carico per la determinazione dello stato di deformazione della trave mista è determinato considerando semplicemente tutti i carichi (sfavorevoli) agenti sulla trave. Allo Stato Limite Ultimo, la combinazione di carico da prendere in considerazione prevede la messa in conto dei medesimi carichi amplificati però per mezzo dei coefficienti parziali sui carichi (che tengono conto dell’incertezza sulla effettiva conoscenza dei valori massimi dei carichi stessi).

I coefficienti parziali sui carichi sono riportati nella norma Europea UNI EN 1990:2006 e nella già citata norma Italiana per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008). I valori dei coefficienti parziali sono riportati in Tabella 4.2.

**Tabella 4.2 – Coefficienti parziali di sicurezza sui carichi**

<b>Coefficienti parziali</b>	<b>NTC - D.M. 14.1.2008</b>	<b>UNI EN 1995-1-1:2009</b>
$\gamma_{G1}$ (peso proprio elementi strutturali)	1,30	1,35
$\gamma_{G2}$ (pesi permanenti portati)	1,50	1,35
$\gamma_Q$ (carichi variabili)	1,50	1,50

Il carico allo Stato Limite di Esercizio quindi è inferiore di quello allo Stato Limite Ultimo del seguente coefficiente parziale medio:

$$\gamma_{eq} = \frac{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k}{G_k + Q_k} = \frac{\gamma_G + \gamma_Q \cdot (Q_k / G_k)}{1 + (Q_k / G_k)} \tag{4.4}$$

Sostituendo nella (4.4) i valori dei coefficienti parziali sui carichi di Tabella 4.2, e considerando un rapporto fra i carichi variabili e quelli permanenti ( $Q_k/G_k$ ) compreso fra 1 e 4, la sollecitazione media nei connettori, ipotizzando una relazione lineare fra carico e sollecitazione, risulta:

$$\begin{aligned} NTC\ 2008 & \left\{ R_{d,med} / \gamma_{eq} = S_{V,SLE} \approx 0,35 R_k \right. \\ EC5\ 2009 & \left\{ R_{d,med} / \gamma_{eq} = S_{V,SLE} \approx 0,40 R_k \right. \end{aligned} \quad (4.5)$$

I valori di sollecitazione medi per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio determinati (calcolati a partire dai valori di sollecitazioni massimi nei connettori allo Stato Limite Ultimo), possono riguardarsi come valori rappresentativi dello stato di sollecitazione nei connettori e quindi utilizzati per la valutazione dei valori della rigidezza della connessione ( $k_{ser}$ ).

I valori di sollecitazione (massima) media e di rigidezza determinati per lo Stato Limite di Esercizio possono essere riguardati quali valori di resistenza ammissibile e di rigidezza dei connettori per le verifiche condotte il metodo delle Tensioni Ammissibili. Si noti che i valori di sollecitazione determinati allo Stato Limite di Esercizio risultano in genere inferiori di  $\frac{1}{3} R_m$ , e quindi compatibili con le vecchie metodologie di definizione dei valori di tensione ammissibile.

## 4.2 Determinazione della resistenza caratteristica dei connettori

Questo paragrafo tratta della determinazione della resistenza caratteristica dei connettori investigati. La resistenza è stata determinata per mezzo della formula 4.1. I risultati delle elaborazioni sono riassunti in Tabella 4.3 per i campioni delle differenti serie con connettori allineati ed in Tabella 4.4 per i connettori della serie 1H con connettori sfalsati: 1H 100S.

In Tabella 4.3 le ultime 3 colonne riportano i valori delle resistenze medie e caratteristiche (oltre che il coefficiente di variazione CV) dei campioni delle differenti serie non tenendo conto dell'influenza della spaziatura fra i connettori. Dalla tabella appare evidente che i campioni delle diverse serie presentano una resistenza crescente all'aumentare del passo fra i connettori, tuttavia non si notano sostanziali differenze di resistenza fra i campioni di serie diverse. Le analisi globali evidenziano per le differenti serie resistenze medie circa equivalenti mentre le resistenze caratteristiche sono fortemente influenzate dalla variabilità dei risultati (attraverso il CV).

In Tabella 4.4, i risultati relativi ai campioni 1H 100S evidenziano che la disposizione sfalsata conduce a resistenze dell'ordine di grandezza di quelle dei campioni 1H con connettori allineati e passo 150 mm (la resistenza caratteristica è più elevata, nonostante quella media sia più bassa, a causa del minore valore del CV).

**Tabella 4.3** – Resistenze medie e caratteristiche dei provini delle differenti serie con connettori allineati tenendo conto o meno del passo fra i connettori.

Serie	<b>R singola prova (kN)</b>					<b>R<sub>m</sub> (kN)</b>	<b>CV %</b>	<b>R<sub>k</sub> (kN)</b>	<b>R<sub>m</sub> (kN)</b>	<b>CV %</b>	<b>R<sub>k</sub> (kN)</b>
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5						
<b>Serie 1H ... A</b>											
1H 100A	28,0	26,0	24,1	28,6	23,7	<b>26,1</b>	8,5	<b>21,6</b>			
1H 150A	28,4	26,1	32,0	27,5	32,1	<b>29,2</b>	9,4	<b>23,8</b>	<b>28,9</b>	10,9	<b>22,5</b>
1H 200A	32,9	31,8	33,8	29,5	28,3	<b>31,3</b>	7,4	<b>26,7</b>			
<b>Serie 2H ... AS</b>											
2H 100AS	24,1	26,1	25,0	---	---	<b>25,0</b>	3,9	<b>22,8</b>			
2H 150AS	26,3	28,9	25,7	---	---	<b>27,0</b>	6,4	<b>22,9</b>	<b>26,7</b>	7,2	<b>22,9</b>
2H 200AS	26,5	30,0	28,3	---	---	<b>28,2</b>	6,3	<b>24,1</b>			
<b>Serie 2H ... AP</b>											
2H 100AP	22,3	24,6	22,3	---	---	<b>23,1</b>	5,8	<b>19,9</b>			
2H 150AP	32,2	26,3	28,3	---	---	<b>28,9</b>	10,4	<b>21,9</b>	<b>27,5</b>	14,5	<b>19,5</b>
2H 200AP	27,7	32,3	31,7	---	---	<b>30,6</b>	8,2	<b>24,7</b>			

**Tabella 4.4** – Resistenze medie e caratteristiche dei provini della serie 1H con connettori sfalsati.

Serie	<b>R singola prova (kN)</b>					<b>R<sub>m</sub> (kN)</b>	<b>CV %</b>	<b>R<sub>k</sub> (kN)</b>
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5			
<b>1H 100S</b>	29,8	28,6	29,0	29,8	25,1	<b>28,5</b>	6,8	<b>24,6</b>

I risultati della Tabella 4.3 sono illustrati graficamente nelle Figure 4.1, 4.2 e 4.3 rispettivamente per i campioni delle serie 1H (assito interrotto) e delle serie 2H (assito continuo) con squadrette fra corpo principale ed assito (2H ... AS) oppure con perni fra corpo principale e trave (2H ... AP).

Dalla Figura 4.1 appare evidente un incremento della resistenza circa lineare con il passo fra i connettori (in media fra 26 e 31 kN). La resistenza caratteristica calcolata non considerando l'influenza della spaziatura risulta superiore di circa il 5% di quella calcolata per i connettori con spaziatura 100 mm e inferiore di circa il 15% rispetto a quella dei connettori con passo 200 mm.

La Figura 4.2 mostra un incremento della resistenza media ancora lineare con il passo ma minore rispetto a quello dei connettori precedenti (da 25 a 28 kN). In questo caso la resistenza caratteristica calcolata sull'intero set di dati risulta inferiore del 5% rispetto a quella calcolata per i campioni con passo 200 mm e coincidente con quella degli altri passi.

Infine, dalla Figura 4.3 appare evidente un incremento di resistenza non lineare con il passo per i campioni della serie 2H ... AP. L'incremento infatti appare molto significativo fra i passi 100 e 150 mm (da 23 a 29 kN) e molto meno marcato fra 150 e 200 mm (da 29 a circa 31 kN). La resistenza

caratteristica calcolata senza considerare l’influenza della spaziatura risulta sempre inferiore di quella calcolata per i differenti passi; essa è circa eguale a quella dei campioni con 100 mm e minore del 20% di quella dei campioni con passo 200 mm.

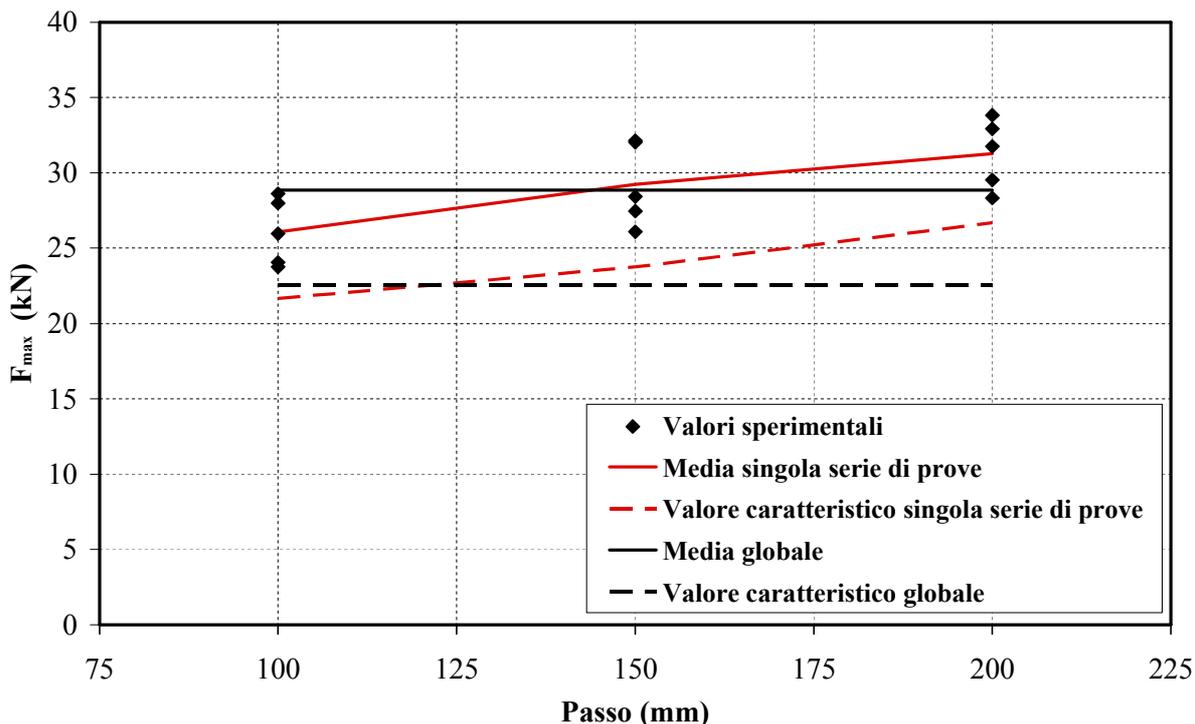


Figura 4.1 – Resistenze medie e caratteristiche dei provini della serie 1H con connettori allineati.

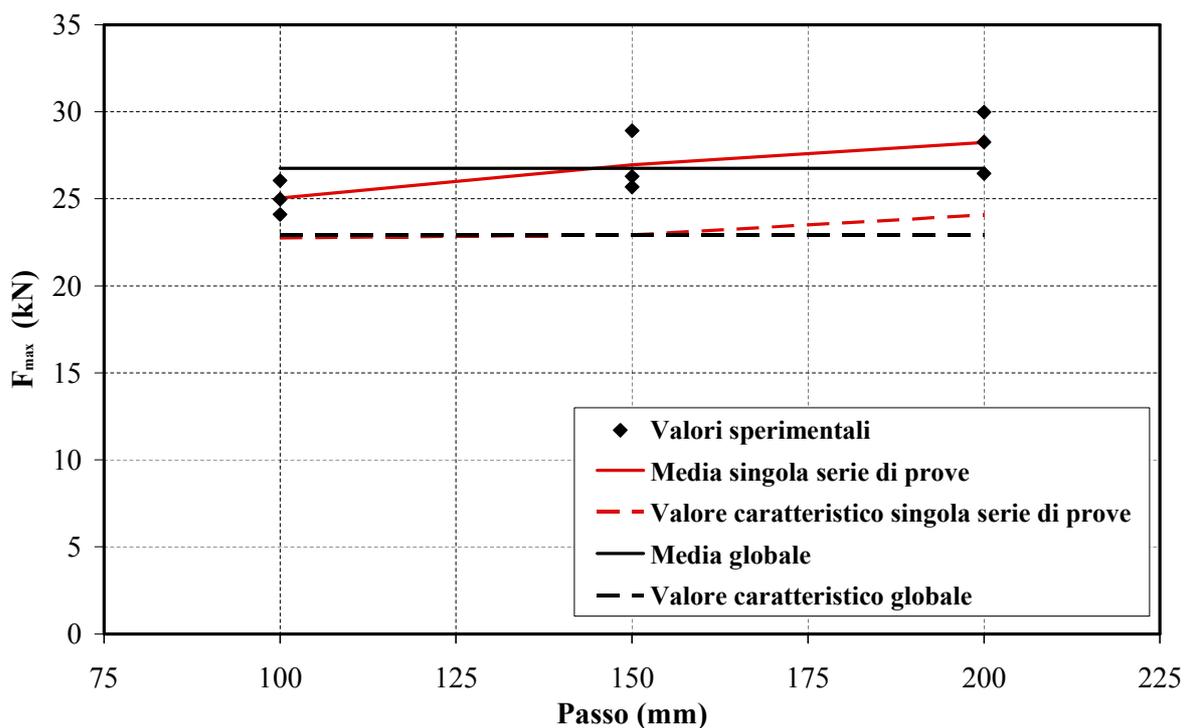
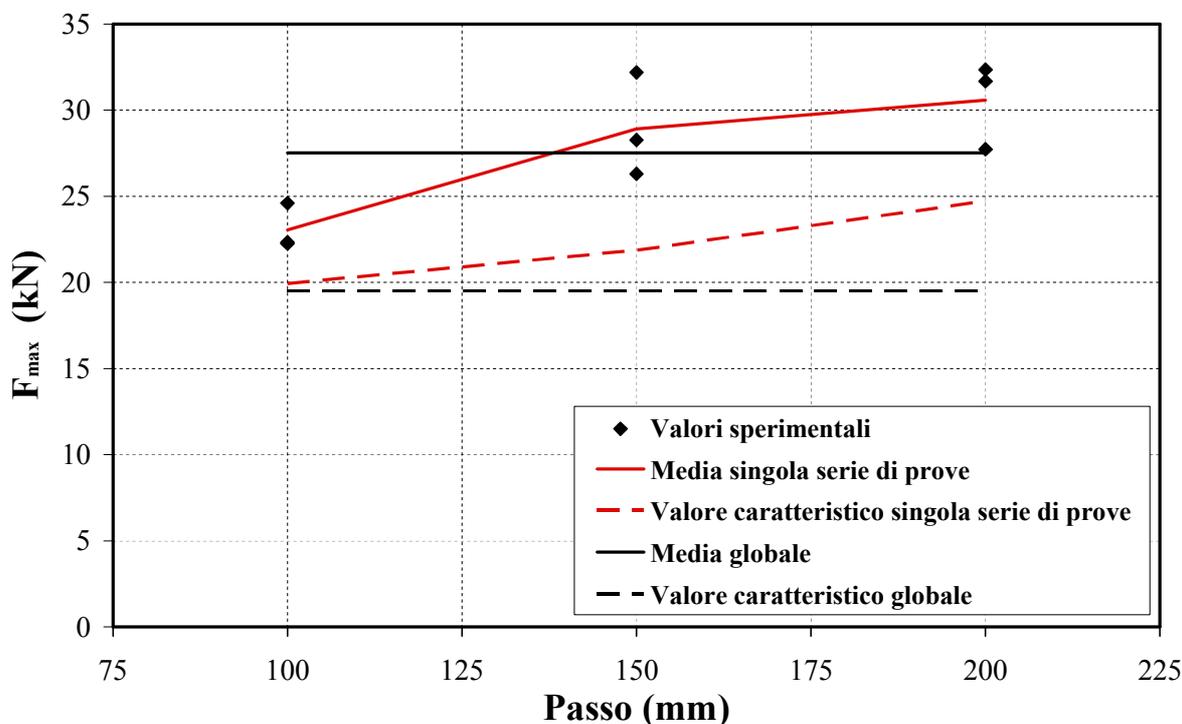


Figura 4.2 – Resistenze medie e caratteristiche dei provini della serie 2H con piastrine.



*Figura 4.3 – Resistenze medie e caratteristiche dei provini della serie 2H con perni.*

### 4.3 Determinazione delle rigidezze in accordo con la normativa italiana

Questo paragrafo tratta della determinazione dei valori delle rigidezze dei connettori per le verifiche di Stato Limite Ultimo e di Stato Limite di Esercizio secondo le prescrizioni delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

Come ricordato al paragrafo 4.1, questo vuol dire valutare la rigidezza dei differenti connettori per livelli di sollecitazione pari rispettivamente pari a 0,5 e 0,35  $R_k$ .

La determinazione delle rigidezze è effettuata sia tenendo conto del passo fra i connettori sia indipendentemente da esso. I risultati sono presentati per maggiore chiarezza in paragrafi differenti.

#### 4.3.1 Determinazione delle rigidezze tenendo conto del passo fra i connettori

I risultati delle elaborazioni per la valutazione delle rigidezze dei differenti connettori con disposizione allineata sono riassunti rispettivamente nelle Tabelle 4.5 e 4.6 per lo Stato Limite Ultimo ( $K_{ul}$ ) e per lo Stato Limite di Esercizio ( $K_{ser}$ ). I risultati relativi ai campioni con disposizione dei connettori sfalsata (1H 100S) sono riassunti rispettivamente nelle Tabelle 4.7 e 4.8.

Si ricorda che i valori del livello di sollecitazione ( $S_{V,SLE}$ ) e di rigidezza ( $K_{ser}$ ) delle Tabelle 4.6 e 4.8 possono essere utilizzati quali valori di riferimento per le verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili.

La penultima colonna delle Tabelle 4.5 e 4.6 riporta le rigidezze medie per ogni connettore a partire dai valori determinati in funzione del passo.

Dalle Tabelle 4.5 e 4.6 si può notare che le rigidezze dei 3 differenti connettori sono valutate per livelli di sollecitazione dell'ordine di 10-13 kN per lo Stato limite Ultimo e di 7-9 kN per quello di Esercizio.

**Tabella 4.5** – Rigidezze allo SLU dei provini delle differenti serie con connettori allineati.

Serie	$S_{V,SLU}$ (kN)	$K_{u,i}$ (kN/mm)					$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %	$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5				
<b>Serie 1H ... A</b>										
1H 100A	<b>10,8</b>	15,4	14,4	18,3	17,7	13,8	<b>15,9</b>	12,4		
1H 150A	<b>11,9</b>	11,8	18,4	16,5	13,3	15,5	<b>15,1</b>	17,3	<b>15,7</b>	15,0
1H 200A	<b>13,4</b>	18,8	18,8	13,0	16,3	13,2	<b>16,0</b>	17,8		
<b>Serie 2H ... AS</b>										
2H 100AS	<b>11,4</b>	3,6	4,3	4,6	---	---	<b>4,2</b>	12,7		
2H 150AS	<b>11,5</b>	3,9	4,9	3,1	---	---	<b>4,0</b>	22,9	<b>4,1</b>	13,6
2H 200AS	<b>12,1</b>	4,2	4,6	4,0	---	---	<b>4,3</b>	6,9		
<b>Serie 2H ... AP</b>										
2H 100AP	<b>10,0</b>	6,5	6,4	5,5	---	---	<b>6,1</b>	9,3		
2H 150AP	<b>11,0</b>	7,4	4,7	5,7	---	---	<b>5,9</b>	23,4	<b>5,8</b>	16,1
2H 200AP	<b>12,4</b>	4,7	4,9	6,1	---	---	<b>5,3</b>	14,6		

**Tabella 4.6** – Rigidezze allo SLE dei provini delle differenti serie con connettori allineati.

Serie	$S_{V,SLE}$ (kN)	$K_{ser,i}$ (kN/mm)					$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %	$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5				
<b>Serie 1H ... A</b>										
1H 100A	<b>7,6</b>	22,2	21,0	25,8	23,4	18,0	<b>22,1</b>	12,9		
1H 150A	<b>8,3</b>	17,6	26,1	24,5	19,1	21,9	<b>21,8</b>	16,3	<b>22,8</b>	18,5
1H 200A	<b>9,3</b>	33,1	27,6	18,8	23,4	19,2	<b>24,4</b>	24,7		
<b>Serie 2H ... AS</b>										
2H 100AS	<b>8,0</b>	4,9	6,6	6,3	---	---	<b>5,9</b>	15,8		
2H 150AS	<b>8,0</b>	5,9	7,2	4,2	---	---	<b>5,8</b>	26,7	<b>5,9</b>	15,5
2H 200AS	<b>8,4</b>	5,9	6,2	5,8	---	---	<b>6,0</b>	3,5		
<b>Serie 2H ... AP</b>										
2H 100AP	<b>7,0</b>	9,5	9,1	7,6	---	---	<b>8,7</b>	11,3		
2H 150AP	<b>7,7</b>	10,4	6,3	7,2	---	---	<b>8,0</b>	26,9	<b>7,9</b>	18,7
2H 200AP	<b>8,6</b>	6,5	6,5	7,8	---	---	<b>6,9</b>	11,2		

**Tabella 4.7 – Rigidezze allo SLU dei provini della serie 1H con connettori sfalsati (1H 100S)**

Serie	$S_{V,SLU}$ (kN)	$K_u$ singola prova (kN/mm)					$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5		
1H 100 S	<b>12,3</b>	12,2	11,3	12,7	14,1	8,8	<b>11,8</b>	16,6

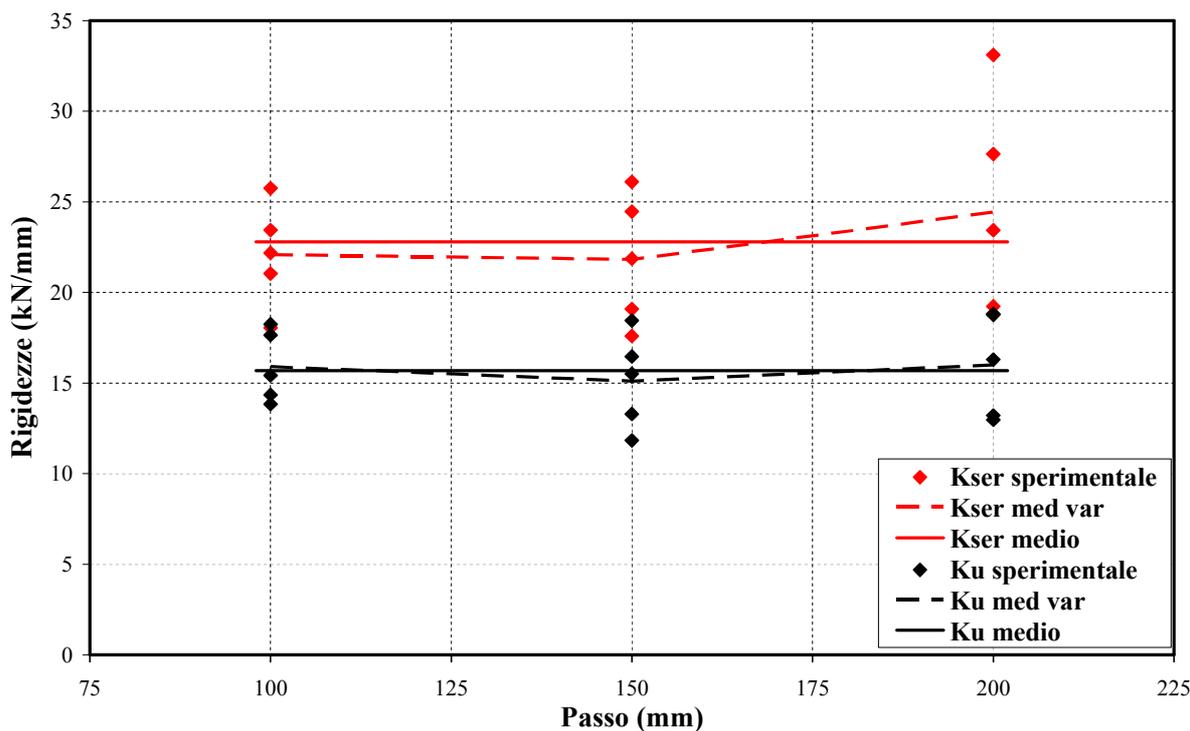
**Tabella 4.8 – Rigidezze allo SLE dei provini della serie 1H con connettori sfalsati (1H 100S)**

Serie	$S_{V,SLE}$ (kN)	$K_{ser}$ singola prova (kN/mm)					$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5		
1H 100 S	<b>8,6</b>	16,5	16,8	18,1	19,4	12,1	<b>16,6</b>	16,6

Come si può osservare le rigidezze dei connettori 1H (con assito interrotto) sono considerevolmente più elevate di quelle dei connettori con assito passante. Fra queste ultime, un leggero migliore comportamento è mostrato dai connettori 2H con perni.

Per quanto riguarda le rigidezze dei campioni della serie 1H con disposizione sfalsata, il confronto con i dati relativi a quelli con disposizione allineata evidenzia chiaramente una notevole minore rigidezza. La considerevole minore rigidezza non è giustificabile con il leggero maggiore livello di sollecitazione con cui le rigidezze sono calcolate.

I risultati delle Tabelle 4.5 e 4.6 sono illustrati in forma grafica nelle Figure 4.4, 4.5 e 4.6; le prime due figure mostrano una non influenza della spaziatura sui valori delle rigidezze, non così la terza.



**Figura 4.4 – Rigidezze dei provini della serie 1H con connettori allineati determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi considerando il passo fra i connettori.**

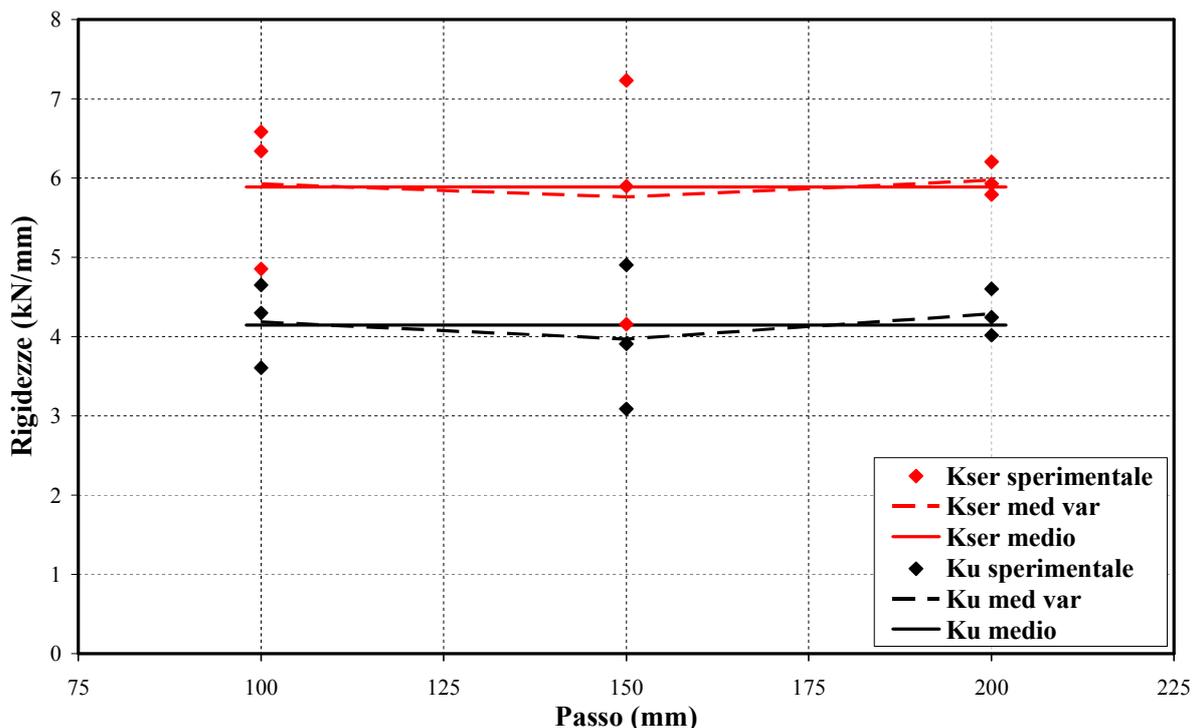


Figura 4.5 – Rigidezze dei provini della serie 2H con piastrine determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi considerando il passo fra i connettori.

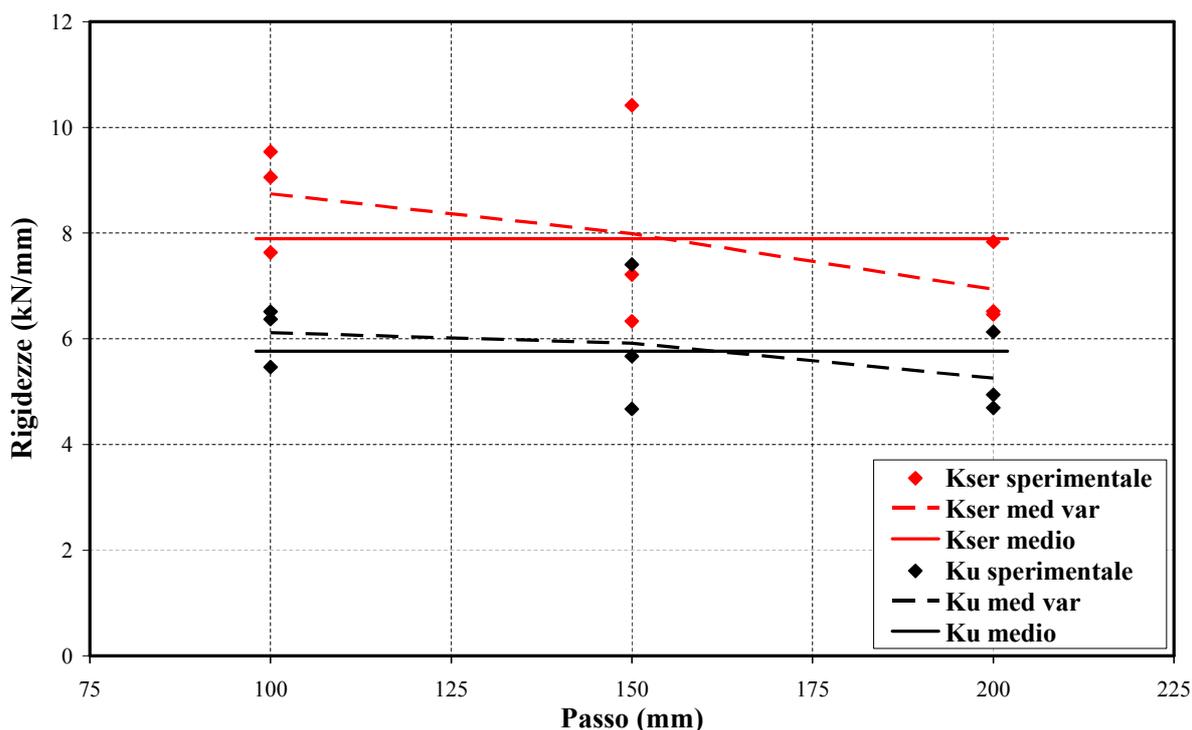


Figura 4.6 – Rigidezze dei provini della serie 2H con perni determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi considerando il passo fra i connettori.

La ragione del decremento delle rigidezze con la spaziatura fra i connettori nel grafico di Figura 4.6, risiede in due fattori distinti. Il primo fattore è riconducibile alla notevole minore resistenza dei campioni con passo 100 mm rispetto a quelli con passo 150 mm. Tale minore resistenza comporta la valutazione delle rigidezze per livelli di carico più bassi e quindi valori di rigidezza considerevolmente più elevati per tale passo. Il secondo fattore sembra risiedere più nel valore elevato delle rigidezze del primo campione con passo 150 mm (2H 150AP1) che ad una effettiva minore rigidezza. I valori delle rigidezze degli altri due campioni con passo 150 mm infatti sono perfettamente in linea con quelli di passo 200 mm.

### 4.3.2 Determinazione delle rigidezze non considerando il passo fra i connettori

I risultati delle elaborazioni per la valutazione delle rigidezze dei differenti connettori senza tenere in considerazione l'influenza del passo fra i connettori sul livello di sollecitazione ( $S_V$ ) sono riassunti in Tabella 4.9 sia per lo Stato Limite Ultimo ( $K_u$ ) che per lo Stato Limite di Esercizio ( $K_{ser}$ ).

I dati relativi ai campioni con disposizione dei connettori sfalsata (1H 100S) non sono considerati nella presente analisi.

Nella derivazione dei valori medi, i valori di rigidezza di alcuni campioni sono stati omessi dai calcoli perché eccessivamente discosti dagli altri valori della medesima serie. In particolare per la serie 1H sono stati omessi i valori dei campioni 1H 200A1 e 1H200A2, e per la serie 2H con perni i valori del campione 2H 150AP1.

I risultati della Tabella 4.9 sono illustrati in forma grafica per i tre connettori nelle Figure 4.7, 4.8 e 4.9. Dalle figure appare evidente una notevole influenza della spaziatura fra i connettori per i campioni della serie 1H. Tale influenza invece è assente nei grafici dei connettori 2H con squadrette e con perni. In merito all'influenza mostrata dalla Figura 4.7 è da notare che essa è notevolmente determinata dagli alti valori di rigidezza dei primi 2 campioni con passo 200 mm; tali valori sono stati tuttavia omessi dal calcolo della media perché ritenuti troppo elevati.

Il confronto fra i valori di rigidezza medi così determinati con quelli medi illustrati al precedente paragrafo evidenzia circa i medesimi valori di rigidezza per le serie 1H e 2H con squadrette, e valori leggermente maggiori per la serie 2H con perni.

La differenza è dovuta essenzialmente al diverso livello di sollecitazione per il quale le rigidezze sono valutate.

**Tabella 4.9** – Rigidezze delle connessioni allo SLU e allo SLE: analisi dei risultati senza tenere conto del passo fra i connettori sul livello della sollecitazione ( $S_V$ ).

	$S_{V,SLU}$ (kN)	Scorr. (mm)	$K_{u,i}$ (kN/mm)	$K_{u,m}$ (kN/mm)	$S_{V,SLE}$ (kN)	Scorr. (mm)	$K_{ser,i}$ (kN/mm)	$K_{ser,m}$ (kN/mm)
1H 100A	11,25	0,76	14,7	16,1	7,88	0,37	21,4	22,7
		0,83	13,6			0,39	20,1	
		0,65	17,4			0,32	24,8	
		0,66	17,0			0,35	22,7	
		0,85	13,2			0,45	17,5	
1H 150A	11,25	0,89	12,6	CV (%) 15,3	7,88	0,42	18,8	CV (%) 14,2
		0,54	20,9			0,29	27,2	
		0,64	17,7			0,30	26,1	
		0,79	14,2			0,39	20,2	
		0,68	16,5			0,34	23,1	
1H 200A	11,25	0,44	25,4 <sup>(1)</sup>	CV (%) 15,3	7,88	0,21	37,4 <sup>(1)</sup>	CV (%) 14,2
		0,51	22,1 <sup>(1)</sup>			0,23	34,6 <sup>(1)</sup>	
		0,71	15,8			0,35	22,3	
		0,57	19,6			0,28	28,3	
		0,70	16,0			0,35	22,6	
2H 100AS	11,45	3,19	3,6	4,1	8,00	1,66	4,8	5,8
		2,68	4,3			1,22	6,6	
		2,47	4,6			1,27	6,3	
		2,93	3,9			1,36	5,9	
		2,33	4,9			1,11	7,2	
2H 150AS	11,45	3,71	3,1	CV (%) 13,9	8,00	1,93	4,2	CV (%) 14,8
		2,56	4,5			1,29	6,2	
		2,38	4,8			1,23	6,5	
		2,69	4,3			1,32	6,1	
		2,56	4,5			1,29	6,2	
2H 200AS	11,45	2,38	4,8	CV (%) 13,9	8,00	1,23	6,5	CV (%) 14,8
		2,69	4,3			1,32	6,1	
		1,47	6,7			0,70	9,8	
		1,50	6,5			0,74	9,2	
		1,75	5,6			0,88	7,8	
2H 100AP	9,75	1,18	8,2 <sup>(1)</sup>	6,1	6,83	0,59	11,6 <sup>(1)</sup>	8,4
		1,89	5,2			0,97	7,0	
		1,59	6,1			0,87	7,9	
		1,67	5,8			0,80	8,6	
		1,66	5,9			0,91	7,5	
2H 150AP	9,75	1,59	6,1	CV (%) 10,9	6,83	0,87	7,9	CV (%) 11,8
		1,67	5,8			0,80	8,6	
		1,66	5,9			0,91	7,5	
		1,35	7,2			0,73	9,3	
		1,67	5,8			0,80	8,6	
2H 200AP	9,75	1,66	5,9	CV (%) 10,9	6,83	0,91	7,5	CV (%) 11,8
		1,35	7,2			0,73	9,3	
		1,67	5,8			0,80	8,6	
		1,66	5,9			0,91	7,5	
		1,35	7,2			0,73	9,3	

<sup>(1)</sup> valori non considerati nel calcolo della media.

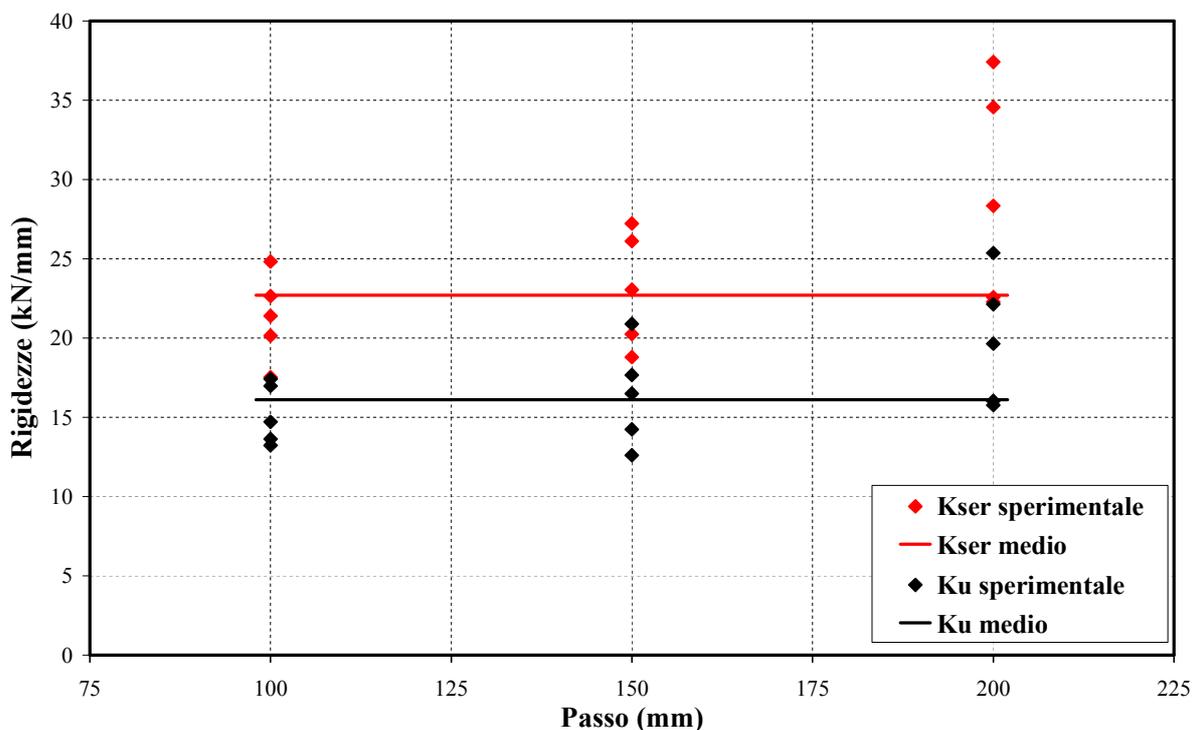


Figura 4.7 – Rigidezze dei provini della serie 1H con connettori allineati determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi senza considerare il passo fra i connettori.

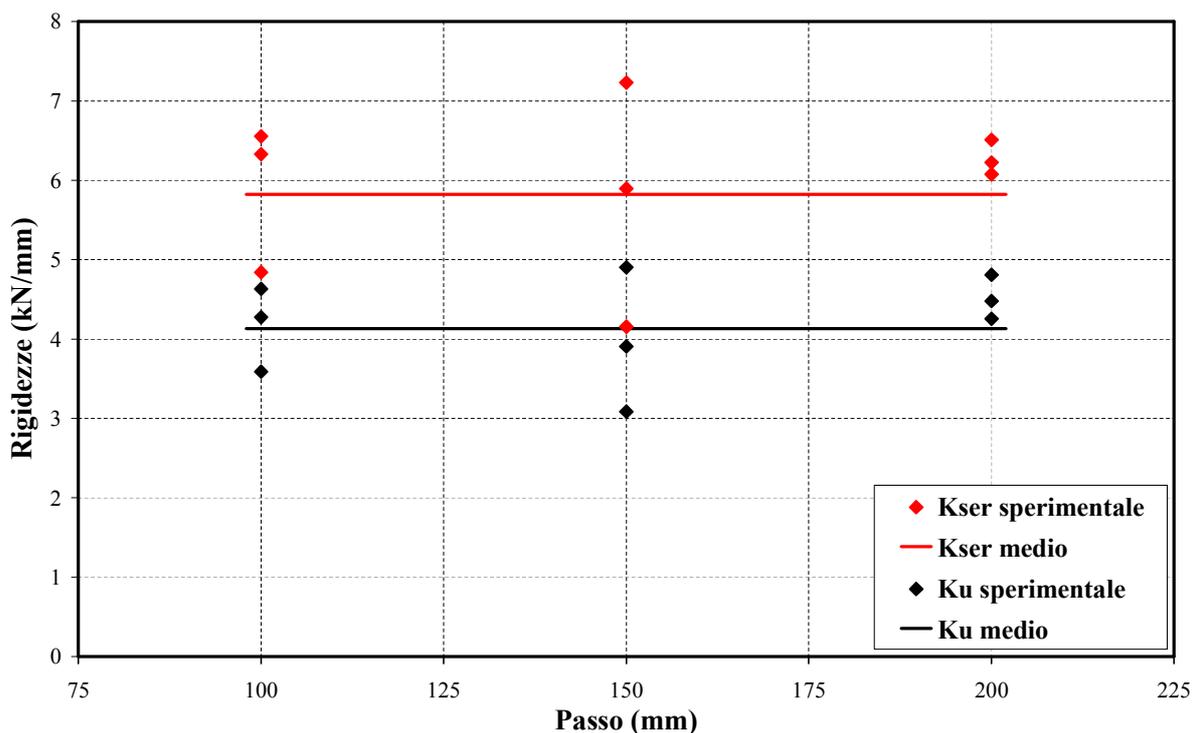
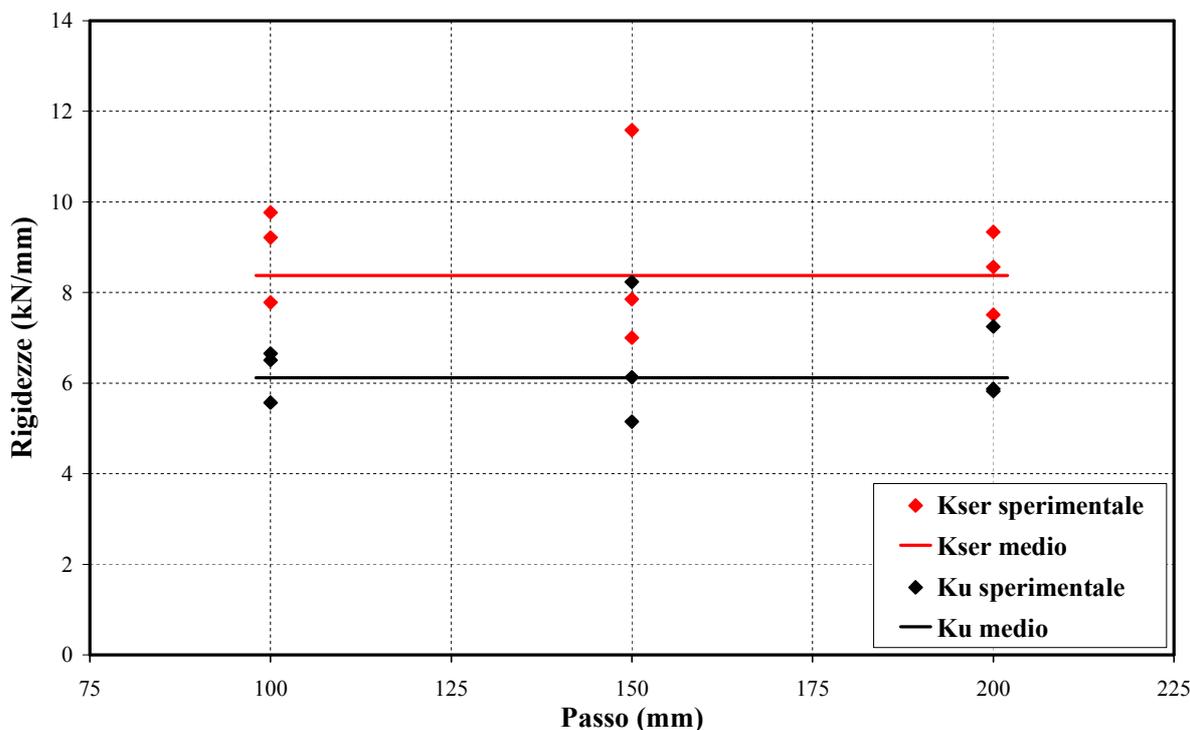


Figura 4.8 – Rigidezze dei provini della serie 2H con piastrine determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi senza considerare il passo fra i connettori.



*Figura 4.9 – Rigidezze dei provini della serie 2H con perni determinati in accordo alle NTC (DM 14.4.2008): analisi senza considerare il passo fra i connettori.*

#### **4.4 Determinazione delle rigidezze in accordo con la normativa europea**

Questo paragrafo tratta della determinazione dei valori delle rigidezze dei connettori per le verifiche di Stato Limite Ultimo e di Stato Limite di Esercizio secondo le prescrizioni della normativa europea (UNI EN 1995-1-1:2009 e UNI EN 1990:2006).

Come ricordato al paragrafo 4.1, questo vuol dire valutare la rigidezza dei differenti connettori per livelli di sollecitazione pari rispettivamente pari a 0,6 e 0,4  $R_k$ .

La determinazione delle rigidezze è effettuata sia tenendo conto del passo fra i connettori sia indipendentemente da esso. I risultati sono presentati per maggiore chiarezza in paragrafi differenti.

##### **4.4.1 Determinazione delle rigidezze tenendo conto del passo fra i connettori**

I risultati delle elaborazioni per la valutazione delle rigidezze dei differenti connettori con disposizione allineata sono riassunti rispettivamente nelle Tabelle 4.10 e 4.11 per lo Stato Limite Ultimo ( $K_u$ ) e per lo Stato Limite di Esercizio ( $K_{ser}$ ). I risultati relativi ai campioni con disposizione dei connettori sfalsata (1H 100S) sono riassunti rispettivamente nelle Tabelle 4.12 e 4.13.

Si ricorda che i valori del livello di sollecitazione ( $S_{V,SLE}$ ) e di rigidezza ( $K_{ser}$ ) delle Tabelle 4.10 e 4.12 possono utilizzarsi quali valori di riferimento per le verifiche alle Tensioni Ammissibili.

La penultima colonna delle Tabelle 4.10 e 4.11 riporta le rigidzze medie per ogni connettore a partire dai valori determinati in funzione del passo.

Dalle Tabelle 4.10 e 4.11 si può notare che le rigidzze dei 3 differenti connettori sono valutate per livelli di sollecitazione dell'ordine di 12-16 kN per lo Stato limite Ultimo e di 8-11 kN per quello di Esercizio.

**Tabella 4.10** – Rigidzze allo SLU dei provini delle differenti serie con connettori allineati.

Serie	$S_{V,SLU}$ (kN)	$K_{u,i}$ (kN/mm)					$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %	$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5				
<b>Serie 1H ... A</b>										
1H 100A	<b>13,0</b>	12,6	11,4	15,1	15,1	11,5	<b>13,1</b>	14,1		
1H 150A	<b>14,3</b>	9,5	12,5	13,5	10,9	12,8	<b>11,8</b>	13,8	<b>12,6</b>	14,8
1H 200A	<b>16,0</b>	13,7	15,6	10,4	13,1	10,6	<b>12,7</b>	17,3		
<b>Serie 2H ... AS</b>										
2H 100AS	<b>13,7</b>	3,1	3,6	4,0	---	---	<b>3,6</b>	13,0		
2H 150AS	<b>13,7</b>	3,2	4,1	2,8	---	---	<b>3,4</b>	19,8	<b>3,5</b>	13,0
2H 200AS	<b>14,5</b>	3,5	4,0	3,3	---	---	<b>3,6</b>	9,6		
<b>Serie 2H ... AP</b>										
2H 100AP	<b>11,9</b>	5,4	5,4	4,8	---	---	<b>5,2</b>	7,6		
2H 150AP	<b>13,1</b>	6,3	4,0	5,0	---	---	<b>5,1</b>	22,1	<b>5,0</b>	14,7
2H 200AP	<b>14,8</b>	4,1	4,4	5,4	---	---	<b>4,6</b>	14,4		

**Tabella 4.11** – Rigidzze allo SLE dei provini delle differenti serie con connettori allineati.

Serie	$S_{V,SLE}$ (kN)	$K_{ser,i}$ (kN/mm)					$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %	$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5				
<b>Serie 1H ... A</b>										
1H 100A	<b>8,6</b>	19,6	18,5	22,6	21,1	16,4	<b>19,6</b>	12,1		
1H 150A	<b>9,5</b>	15,2	24,2	21,3	16,9	19,4	<b>19,4</b>	18,3	<b>20,1</b>	17,7
1H 200A	<b>10,7</b>	28,1	23,5	16,6	20,6	16,9	<b>21,2</b>	22,9		
<b>Serie 2H ... AS</b>										
2H 100AS	<b>9,1</b>	4,4	5,7	5,7	---	---	<b>5,2</b>	14,0		
2H 150AS	<b>9,2</b>	5,0	6,2	3,7	---	---	<b>5,0</b>	25,9	<b>5,2</b>	14,8
2H 200AS	<b>9,6</b>	5,2	5,5	5,1	---	---	<b>5,3</b>	4,5		
<b>Serie 2H ... AP</b>										
2H 100AP	<b>8,0</b>	8,2	8,0	6,7	---	---	<b>7,6</b>	10,5		
2H 150AP	<b>8,8</b>	9,1	5,7	6,6	---	---	<b>7,1</b>	25,2	<b>7,0</b>	17,4
2H 200AP	<b>9,9</b>	5,8	5,8	7,2	---	---	<b>6,2</b>	12,8		

**Tabella 4.12** – Rigidezze allo SLU dei provini della serie 1H con connettori sfalsati (1H 100S)

Serie	$S_{V,SLU}$ (kN)	$K_u$ singola prova (kN/mm)					$K_{u,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5		
1H 100 S	<b>14,8</b>	10,2	9,1	10,7	11,0	7,6	<b>9,7</b>	14,6

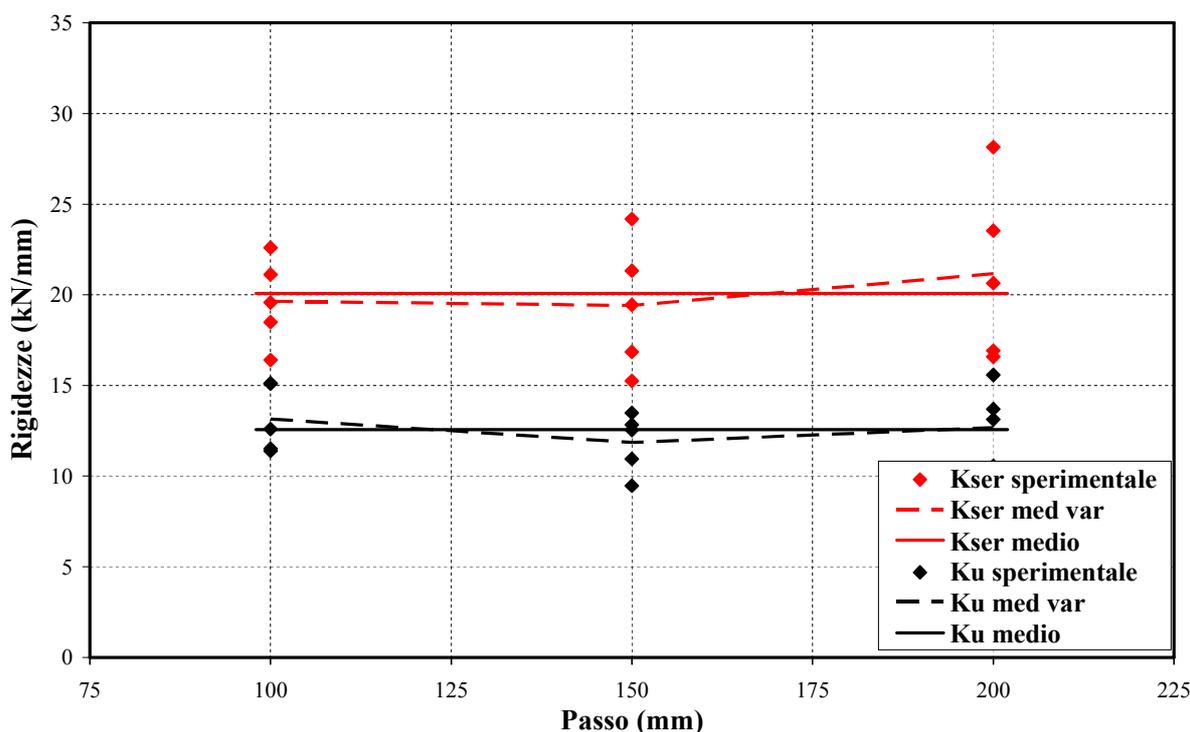
**Tabella 4.13** – Rigidezze allo SLE dei provini della serie 1H con connettori sfalsati (1H 100S)

Serie	$S_{V,SLE}$ (kN)	$K_{ser}$ singola prova (kN/mm)					$K_{ser,m}$ (kN/mm)	CV %
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5		
1H 100 S	<b>9,8</b>	14,7	14,4	16,0	17,5	10,9	<b>14,7</b>	16,7

Anche con le analisi secondo le norme europee le rigidezze dei connettori 1H (con assito interrotto) sono considerevolmente più elevate di quelle dei connettori con assito passante. Fra queste ultime, un leggero migliore comportamento è mostrato dai connettori 2H con perni.

Per quanto riguarda le rigidezze dei campioni della serie 1H con disposizione sfalsata, il confronto con i dati relativi a quelli con disposizione allineata evidenzia anche in queste analisi una notevole minore rigidezza.

I risultati delle Tabelle 4.10 e 4.11 sono illustrati in forma grafica nelle Figure 4.10, 4.11 e 4.12; le prime due figure non evidenziano una influenza della spaziatura sui valori delle rigidezze, non così la terza. Le ragioni dell'apparente influenza del passo sui valori di rigidezza sono le medesime descritte la punto precedente al quale pertanto si rimanda.



**Figura 4.10** – Rigidezze dei provini della serie 1H con connettori allineati determinati in accordo con l’EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi considerando il passo fra i connettori.

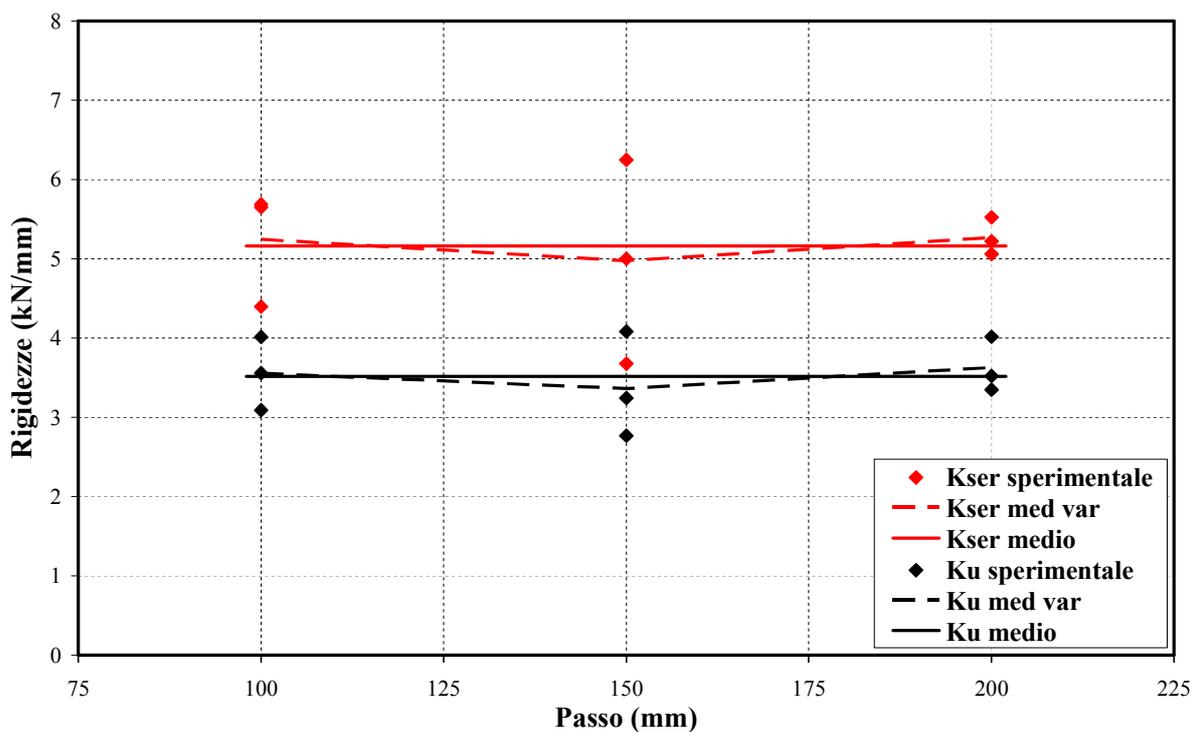


Figura 4.11 – Rigidezze dei provini della serie 2H con piastrine determinati in accordo con l’EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi considerando il passo fra i connettori.

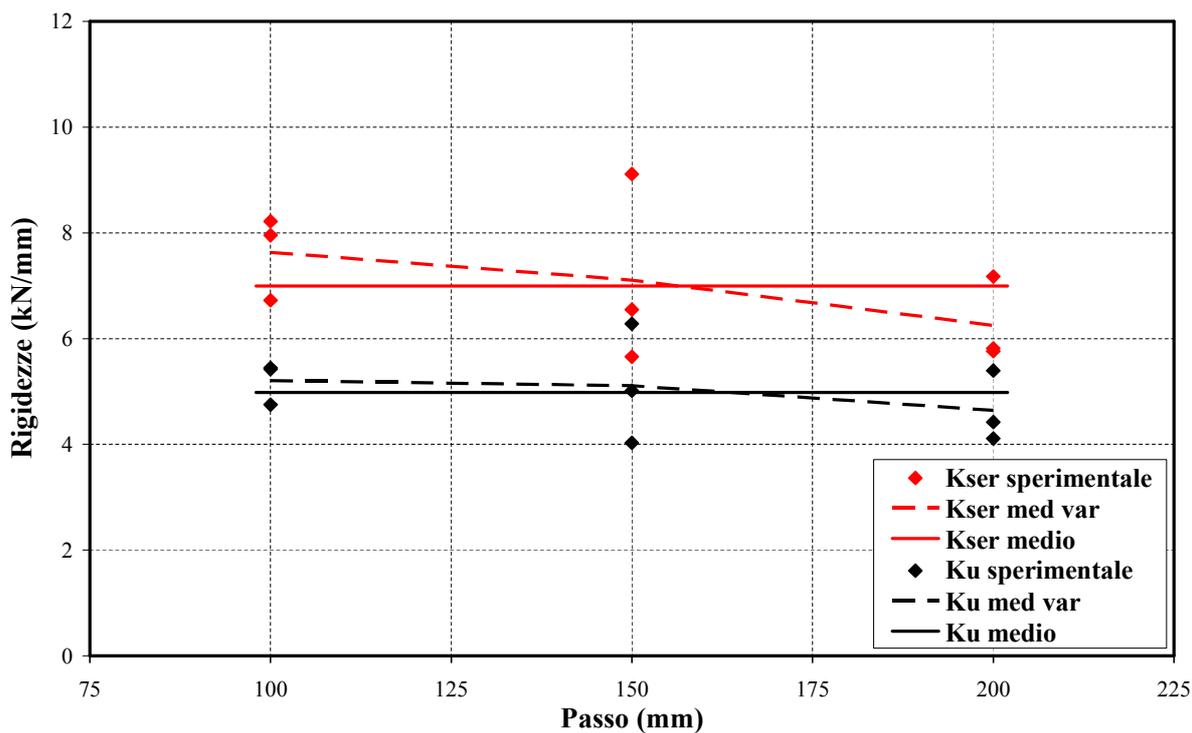


Figura 4.12 – Rigidezze dei provini della serie 2H con perni determinati in accordo con l’EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi considerando il passo fra i connettori.

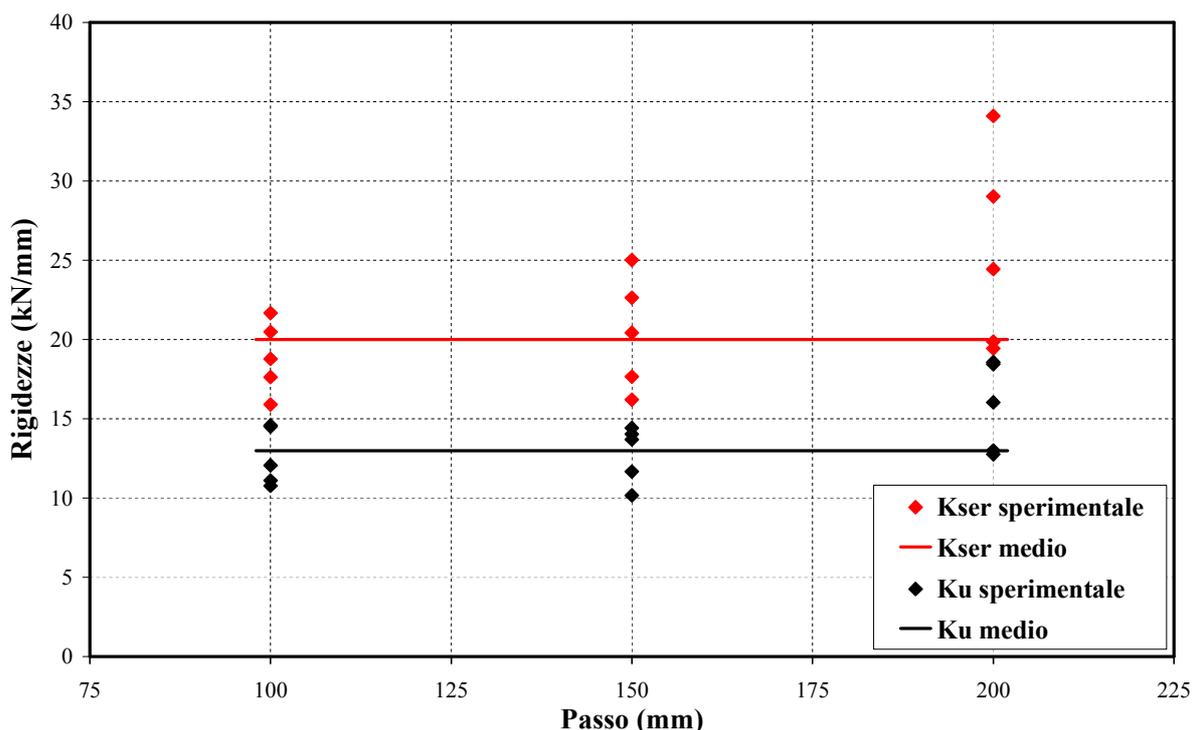
#### 4.4.2 Determinazione delle rigidezze non considerando il passo fra i connettori

I risultati delle elaborazioni per la valutazione delle rigidezze dei differenti connettori senza tenere in considerazione l'influenza del passo fra i connettori sul livello di sollecitazione ( $S_V$ ) sono riassunti in Tabella 4.14 sia per lo Stato Limite Ultimo ( $K_u$ ) che per lo Stato Limite di Esercizio ( $K_{ser}$ ). I dati relativi ai campioni con disposizione dei connettori sfalsata (1H 100S) non sono considerati nella presente analisi.

Come già fatto in precedenza, nella derivazione dei valori medi sono stati omessi dai calcoli i dati dei campioni 1H 200A1, 1H200A2 e 2H 150AP1 perché eccessivamente elevati.

I risultati della Tabella 4.14 sono illustrati in forma grafica per i tre connettori nelle Figure 4.13, 4.14 e 4.15. Dalle figure appare evidente una notevole influenza della spaziatura fra i connettori per i campioni della serie 1H, influenza invece del tutto assente nei grafici dei connettori 2H con squadrette e con perni. Tuttavia, l'influenza mostrata dalla Figura 4.13 è determinata essenzialmente dagli alti valori di rigidezza dei campioni 1H 200A1 e 1H200A2 omessi dal calcolo della media.

Il confronto fra i valori di rigidezza medi così determinati con quelli medi illustrati al precedente paragrafo evidenzia circa i medesimi valori di rigidezza per le serie 1H e 2H con squadrette, e valori leggermente maggiori per la serie 2H con perni. La differenza è dovuta essenzialmente al diverso livello di sollecitazione per il quale le rigidezze sono valutate.

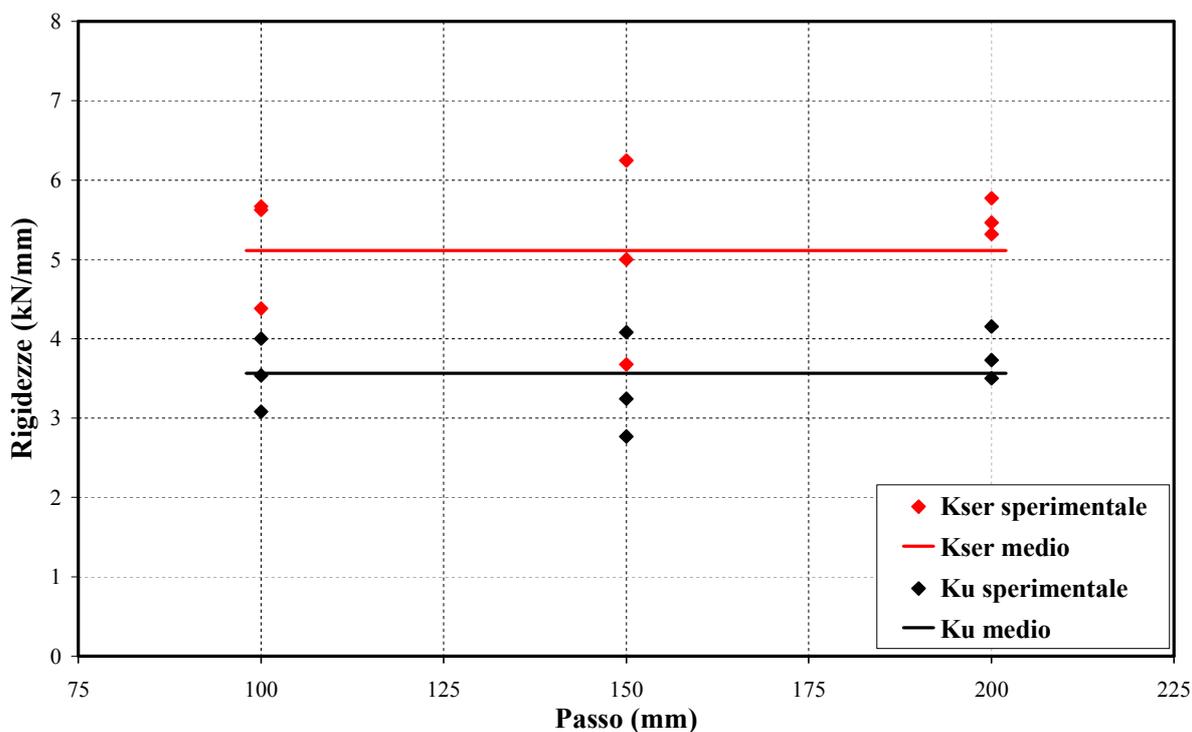


**Figura 4.13** – Rigidezze dei provini della serie 1H con connettori allineati determinati in accordo con l'EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi senza considerare il passo fra i connettori.

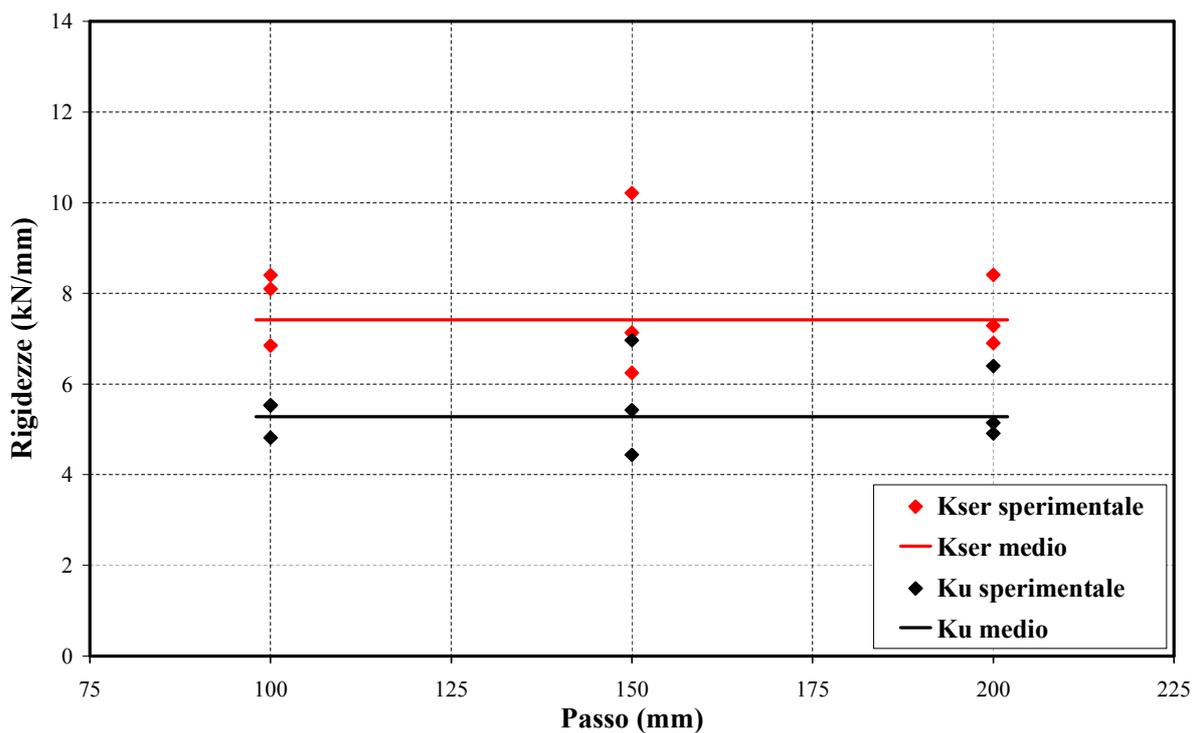
**Tabella 4.14 – Rigidezze delle connessioni allo SLU e allo SLE: analisi dei risultati senza tenere conto del passo fra i connettori sul livello della sollecitazione ( $S_V$ ).**

	$S_{V,SLU}$ (kN)	Scorr. (mm)	$K_{u,i}$ (kN/mm)	$K_{u,m}$ (kN/mm)	$S_{V,SLE}$ (kN)	Scorr. (mm)	$K_{ser,i}$ (kN/mm)	$K_{ser,m}$ (kN/mm)		
1H 100A	13,50	1,12	12,1	13,0	9,00	0,48	18,8	20,0		
		1,25	10,8			0,51	17,6			
		0,93	14,5			0,42	21,7			
		0,93	14,6			0,44	20,5			
		1,22	11,1			0,57	15,9			
1H 150A		1,33	10,2	CV (%) 13,5		0,56	16,2		14,4	
		0,96	14,0			0,36	25,0			
		0,94	14,4			0,40	22,6			
		1,16	11,7			0,51	17,6			
		0,99	13,7			0,44	20,4			
1H 200A		0,73	18,4 <sup>(1)</sup>			0,26	34,1 <sup>(1)</sup>			
		0,73	18,6 <sup>(1)</sup>			0,31	29,0 <sup>(1)</sup>			
		1,06	12,8			0,46	19,4			
		0,84	16,0			0,37	24,4			
		1,04	13,0			0,45	19,9			
2H 100AS	13,74	4,46	3,1	3,6	9,16	2,09	4,4	5,1		
		3,88	3,5			1,63	5,6			
		3,43	4,0			1,62	5,7			
		4,24	3,2			1,83	5,0			
		3,37	4,1			1,47	6,2			
2H 150AS		4,97	2,8	CV (%) 13,3		2,49	3,7		14,4	
		2H 200AS	3,68			3,7	1,68			5,5
			3,31			4,2	1,59			5,8
			3,93			3,5	1,72			5,3
			2H 100AP			2,12	5,5			5,3
2,12				5,5		0,96	8,1			
2,43		4,8		1,14		6,8				
1,68		7,0 <sup>(1)</sup>		0,76		10,2 <sup>(1)</sup>				
2H 150AP		2,64		4,4		CV (%) 11,3	7,80		6,2	
		2,16	5,4	1,09			7,1			
	2H 200AP	2,38	4,9	1,07	7,3					
		2,27	5,1	1,13	6,9					
		1,83	6,4	0,93	8,4					

<sup>(1)</sup> valori non considerati nel calcolo della media.



*Figura 4.14 – Rigidezze dei provini della serie 2H con piastrine determinati in accordo con l’EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi senza considerare il passo fra i connettori.*



*Figura 4.15 – Rigidezze dei provini della serie 2H con perni determinati in accordo con l’EC5 (UNI EN 1995-1-1:2009): analisi senza considerare il passo fra i connettori.*

## 5. Conclusioni

In questo capitolo si riportano delle tabelle riassuntive contenenti i valori delle caratteristiche meccaniche dei connettori POWER SISTEM “V”<sup>®</sup> da utilizzarsi per il dimensionamento dei solai misti legno-calcestruzzo.

In dettaglio sono riportati i parametri che si ritengono di maggiore utilità, ovvero quelli in precedenza ricavati senza tenere conto dell’influenza del passo fra i connettori sulle caratteristiche meccaniche della connessione. Tali valori sono riportati sia con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni sia con riferimento alle normative Europee.

I valori proposti in Tabella 5.1 sono relativi alle verifiche con il metodo degli Stati Limite, quelli di Tabella 5.2 invece si riferiscono alle verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili.

In dettaglio in Tabella 5.1 i dati riportati per le diverse serie e secondo la normativa impiegata per le verifiche sono: la resistenza caratteristica del connettore ( $F_{u,k}$ ), la rigidezza della connessione per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio ( $k_{ser}$ ), la rigidezza della connessione per le verifiche allo Stato Limite Ultimo ( $k_u$ ).

In Tabella 5.2 invece sono riportati per le diverse serie i valori della resistenza ammissibile dei connettori ( $F_{amm}$ ) e la rigidezza della connessione ( $k$ ).

*Tabella 5.1 – Parametri progettuali per le verifiche agli Stati Limite*

Normativa di riferimento	Serie	$F_{u,k}$ (kN)	$k_{ser}$ (kN/mm)	$k_u$ (kN/mm)
D.M. 14 gennaio 2008	<b>1H</b>	22,5	22,7	16,1
	<b>2H S</b>	22,9	5,8	4,1
	<b>2H P</b>	19,5	8,4	6,1
UNI EN 1995-1-1:2009	<b>1H</b>	22,5	20,0	13,0
	<b>2H S</b>	22,9	5,1	3,6
	<b>2H P</b>	19,5	7,4	5,3

*Tabella 5.2 – Parametri progettuali per le verifiche alle Tensioni Ammissibili*

Serie	$F_{amm}$ (kN)	$k$ (kN/mm)
<b>1H</b>	9,0	20,0
<b>2H S</b>	9,2	5,1
<b>2H P</b>	7,8	7,4

Si precisa che i dati di Tabella 5.2 corrispondono ai valori ricavati per le verifiche di Stato Limite di Esercizio secondo la normativa europea. Tali valori infatti si ritengono più rappresentativi dei livelli di sollecitazione e deformazione effettivamente presenti nelle travi miste in corrispondenza della presenza contemporanea di tutti i carichi di progetto.