

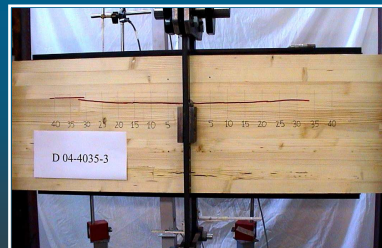
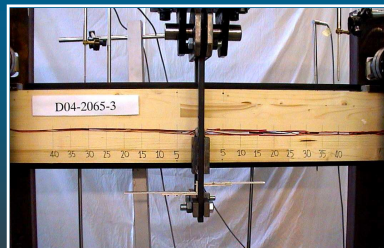
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Civile
Indirizzo Strutture

La resistenza a “splitting” di travi di legno: analisi numeriche con propagazione di fessura

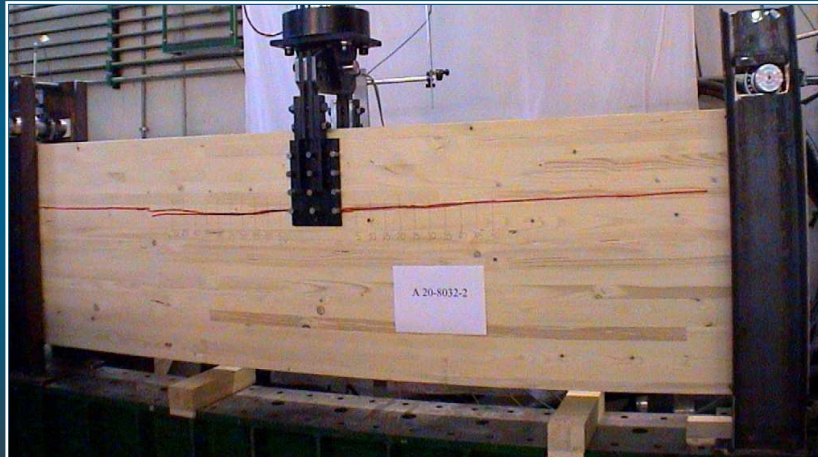
Relatore:
dott. ing. Marco Ballerini

Laureando:
Mirko Rizzi

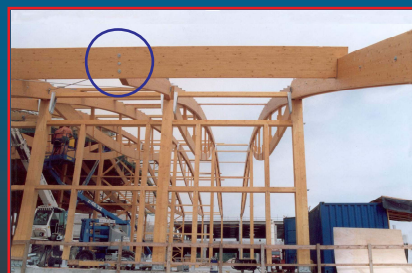
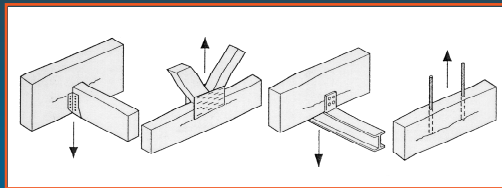
La fessurazione parallela alle fibre (*splitting*)



La fessurazione parallela alle fibre (*splitting*)



La fessurazione parallela alle fibre (*splitting*)



Sommario

- ❖ Background
- ❖ Finalità della ricerca
- ❖ Approccio numerico
 - metodologia
 - caratteristiche di base del modello FE
- ❖ Analisi numeriche
 - parametri investigati
 - analisi di travi con un singolo connettore
 - analisi di travi caricate da 1 riga di 2 connettori con differenti spaziatore l_r (larghezza della connessione)
 - analisi di travi caricate da 1 colonna di connettori con differenti altezze h_m e righe n
 - caso studio di trave con una riga di m connettori
 - caso studio di trave con elevato numero di connettori
- ❖ Conclusioni

Background

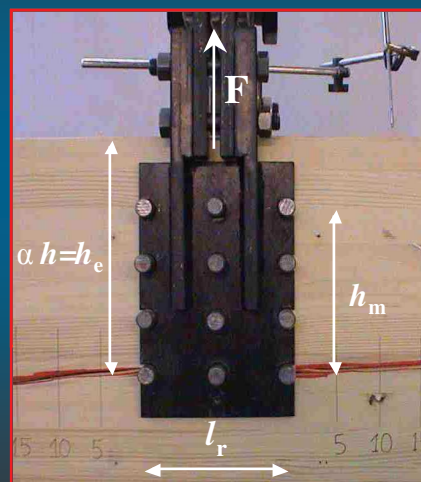
Parametri che influenzano la resistenza a *splitting*

parametri della trave:

- h l'altezza della trave
- b lo spessore della trave
- h_e la distanza dell'ultima riga di connettori dal bordo caricato

parametri della connessione:

- l_r larghezza
- h_m altezza
- n numero righe
- m numero colonne



Background

Formule di letteratura

- ❖ Ehlbeck, Görlacher e Werner (EGW) 1989, **semi-empirica**

$$F_{90} = 10 \frac{A_{eff}^{0.8}}{\eta k_r}$$

- ❖ T.A.C.M. Van der Put (VdP) 1991, **teorica**

$$F_u = 2 \cdot 11.6 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \alpha}}$$

- ❖ Ballerini 2004, **semi-empirica su base teorica**

$$F_{u,pre} = 2b \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \alpha^3}} \cdot f_w \cdot f_r$$

$$f_w = 1 + 0.75 \cdot \frac{l_r + l_l}{h} \leq 2.0$$

$$f_r = 1 + 1.75 \frac{n \cdot h_m / 1000}{1 + n \cdot h_m / 1000}$$

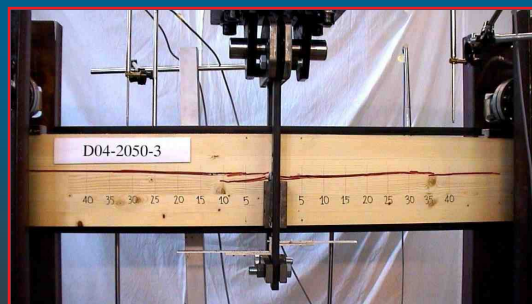
Background

Approccio al problema dello *splitting*

- ❖ materiale elasto-fragile
- ❖ propagazione stabile e instabile della fessura
- ❖ concentrazione di tensioni all'apice delle cricche

Meccanica della Frattura Lineare Elastica

(LEFM)



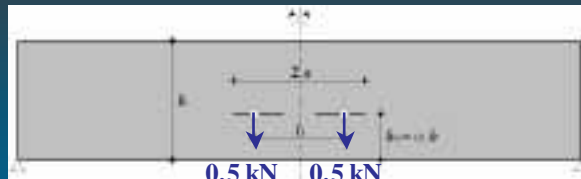
Finalità della ricerca

Lo scopo di questa ricerca è la valutazione, attraverso un approccio numerico, dell'effetto di differenti parametri geometrici della connessione sulla resistenza a "splitting" di travi in legno:

- ❖ la valutazione degli effetti dei parametri investigati in configurazioni non considerate nelle prove sperimentali
- ❖ il confronto tra gli effetti ottenuti dalle analisi numeriche con quelli delle formule di predizione disponibili in letteratura e dei risultati sperimentali

Approccio numerico

Metodologia



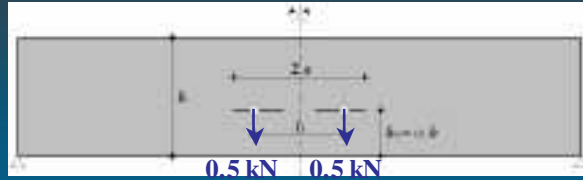
- 1) calcolo degli **intensificatori degli sforzi** (SIFs) k_I e k_{II} per unità di carico ($\text{MPa mm}^{1/2} / \text{kN}$)
- 2) calcolo del **carico di propagazione** F per mezzo del criterio di rottura di **Wu**

$$\left(\frac{k_I \cdot F}{K_{IC}} \right) + \left(\frac{k_{II} \cdot F}{K_{IIC}} \right)^2 = 1$$

- 3) la modifica della mesh, aumentando il valore di a
- 4) ritorno al punto 1

Approccio numerico

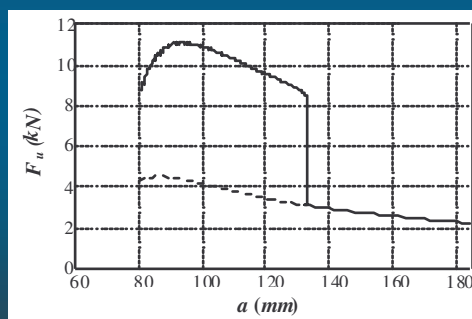
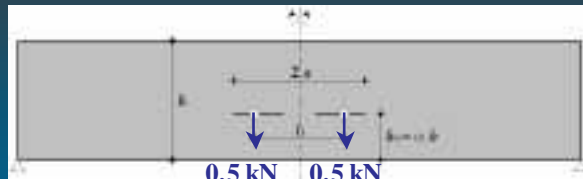
Metodologia



- ❖ le analisi sono state sviluppate con il programma ad elementi finiti **ANSYS 8.0**
- ❖ il linguaggio **APDL** di **ANSYS** ha consentito la definizione di un **modello parametrico** delle travi e quindi, mediante l'implementazione nel programma della precedente procedura, lo sviluppo di una **procedura automatica di propagazione della fessura**

Approccio numerico

Metodologia



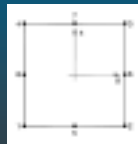
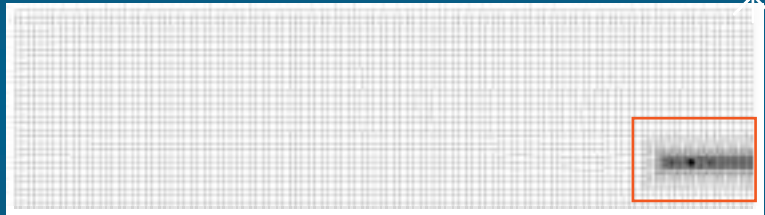
determinazione del **carico massimo** al quale corrisponde la propagazione instabile della fessura

Approccio numerico

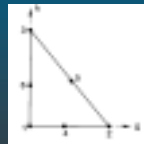
Caratteristiche di base del modello FE

Le analisi sono state sviluppate in condizioni di **tensione piana**

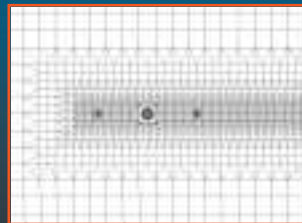
Le travi sono state modellate con elementi finiti **CPS8** e **CPS6**
(elementi 8 e 6 nodi) con dimensioni variabili da **0.5 a 10 mm**



CPS8



CPS6

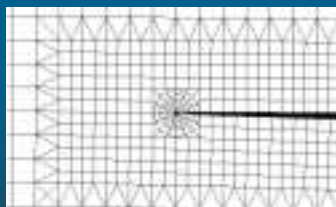


Approccio numerico

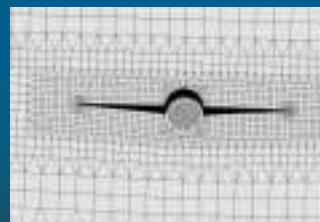
Caratteristiche di base del modello FE

Le analisi sono state sviluppate in condizioni di **tensione piana**

gli apici delle cricche sono stati modellati con **16 elementi quarter-point CPS8 degenerati a triangoli** con dimensione maggiore di **0.4 mm**



per modellare il trasferimento delle forze tra connettore e trave sono stati utilizzati gli elementi di contatto **CONTAC48**



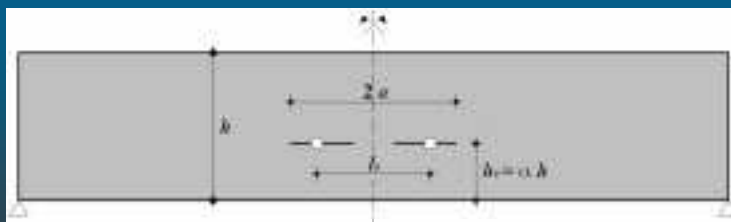
sono stati considerati i seguenti parametri ortotropi:

$$E_x = 11000 \text{ MPa}, E_y = 890 \text{ MPa}, G_{xy} = 760 \text{ MPa}, \nu_{xy} = 0.37$$

Analisi numeriche

Parametri investigati

- ❖ la larghezza della connessione l_r
 - 1 riga di 2 connettori con larghezza della connessione variabile l_r da 0 a circa 300 mm
 - 2 differenti altezze di trave h (120 e 240 mm)
 - α variabile da 0.117 a 0.7



Analisi numeriche

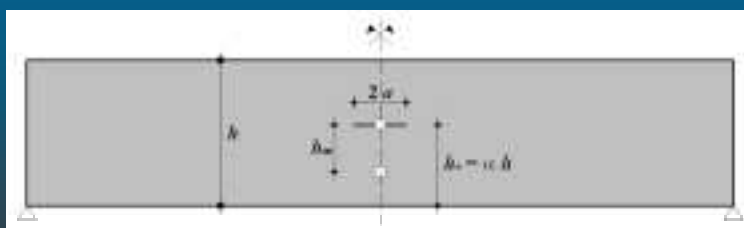
Parametri investigati

- ❖ l'altezza della connessione h_m
 - 1 colonna di 2 connettori con h_m variabile da 19 a 76 mm

$h = 180$ mm

α (0.37, 0.47 e 0.58)

$h_m =$	19	38	57	76	19	38	57	19	38



Analisi numeriche

Parametri investigati

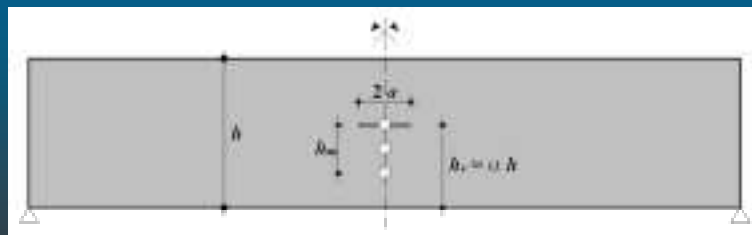
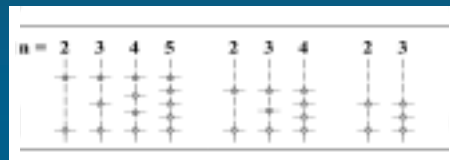
- ❖ il numero di connettori in colonna n

1 colonna costituita da un numero variabile di connettori n da 2 a 5

$h = 180$ mm

α (0.37, 0.47 e 0.58)

h_m (38, 57 e 76 mm)



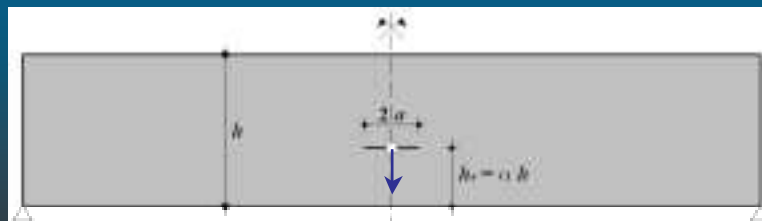
Analisi numeriche

Analisi di travi con un singolo connettore

Queste analisi sono state sviluppate solo a scopo di confronto

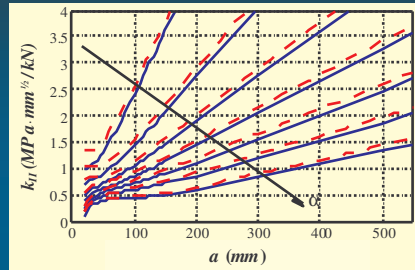
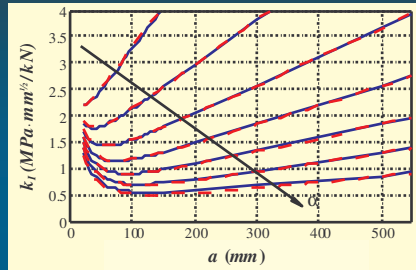
I risultati numerici ricavati dalla presente investigazione con il programma **ANSYS 8.0** sono stati confrontati con quelli ottenuti in precedenti ricerche con **ABAQUS 6.2**

Per questo confronto sono state considerate solo travi di altezza $h = 200$ mm



Analisi numeriche

Analisi di travi con un singolo connettore



S1-200 specimens:

$h_e = 40 - 160 \text{ mm}$

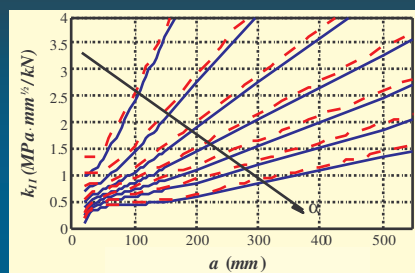
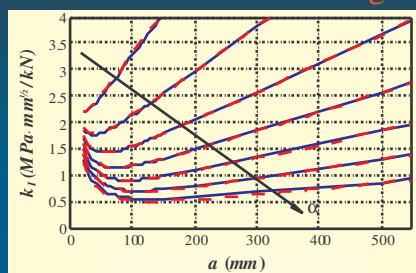
$\alpha = 0.2 - 0.8$

— ANSYS 8.0

- - ABAQUS 6.2

Analisi numeriche

Analisi di travi con un singolo connettore



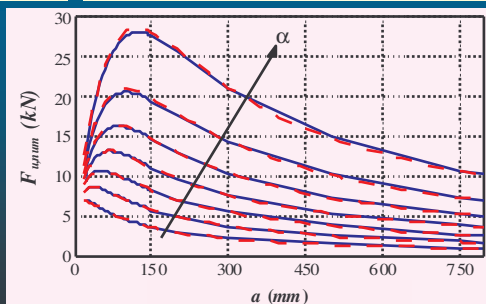
S1-200 specimens:

$h_e = 40 - 160 \text{ mm}$

$\alpha = 0.2 - 0.8$

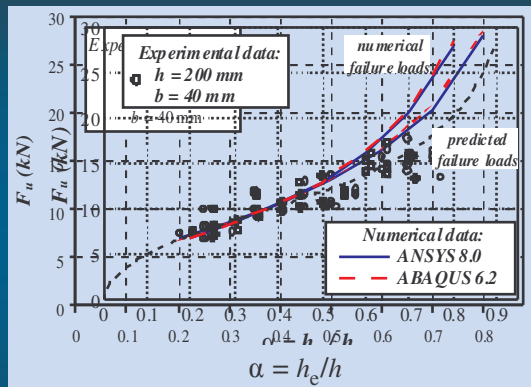
— ANSYS 8.0

- - ABAQUS 6.2



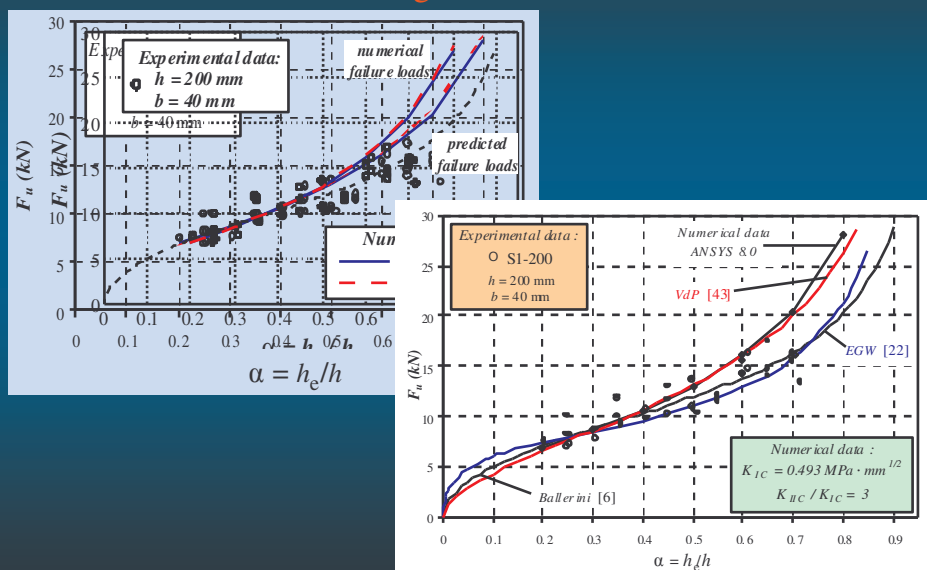
Analisi numeriche

Analisi di travi con un singolo connettore



Analisi numeriche

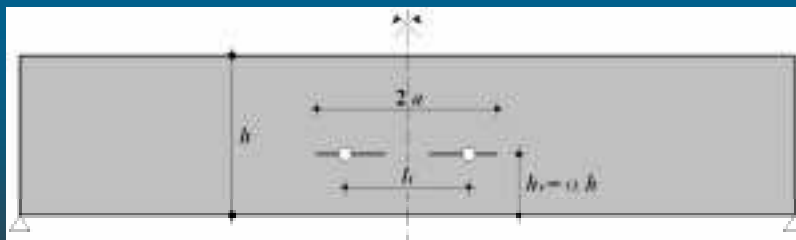
Analisi di travi con un singolo connettore



Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori

Per confrontare i risultati numerici con quelli sperimentali, i parametri di base della trave e della geometria della connessione sono stati assunti uguali a quelli dei campioni della **serie C** della ricerca sperimentale di **Möhler & Lautenshläger**.



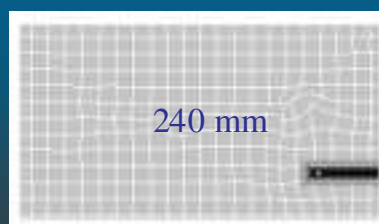
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori

Per confrontare i risultati numerici con quelli sperimentali, i parametri di base della trave e della geometria della connessione sono stati assunti uguali a quelli dei campioni della **serie C** della ricerca sperimentale di **Möhler & Lautenshläger**.

In dettaglio:

2 altezze di trave



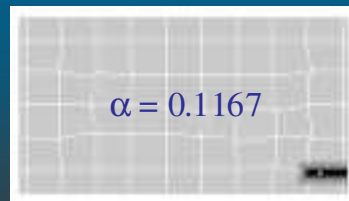
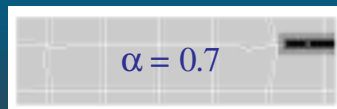
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori

Per confrontare i risultati numerici con quelli sperimentali, i parametri di base della trave e della geometria della connessione sono stati assunti uguali a quelli dei campioni della serie C della ricerca sperimentale di Möhler & Lautenshläger.

In dettaglio:
4 valori di α

0.1167
0.233
0.467
0.7

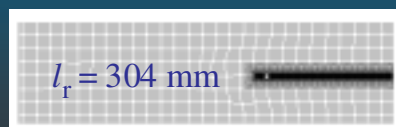
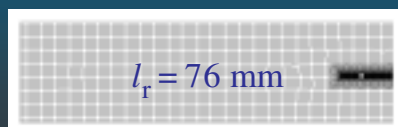
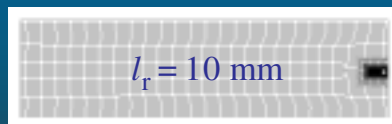


Analisi numeriche

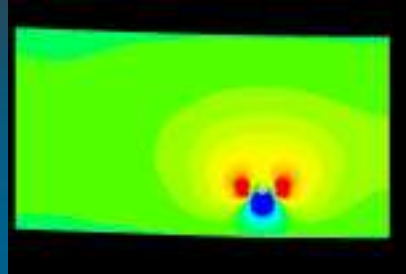
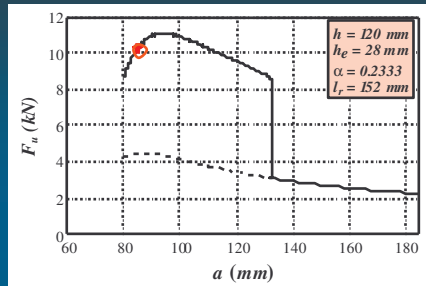
Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori

Per confrontare i risultati numerici con quelli sperimentali, i parametri di base della trave e della geometria della connessione sono stati assunti uguali a quelli dei campioni della serie C della ricerca sperimentale di Möhler & Lautenshläger.

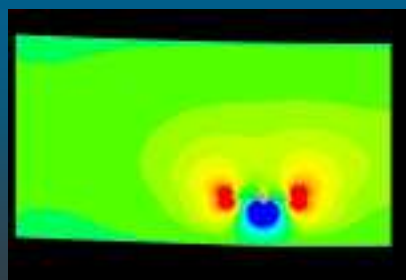
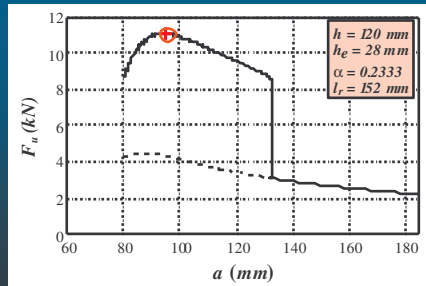
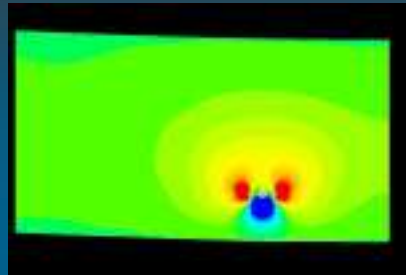
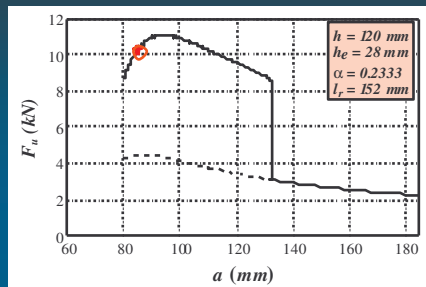
In dettaglio:
6 valori di l_r : 10, 19, 38, 76, 152 e 304 mm



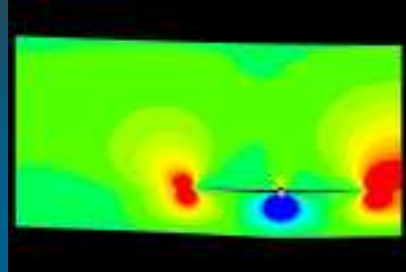
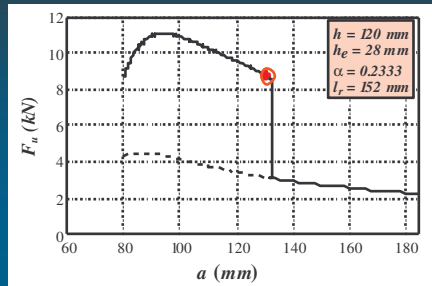
Analisi numeriche



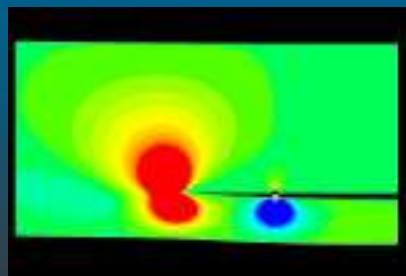
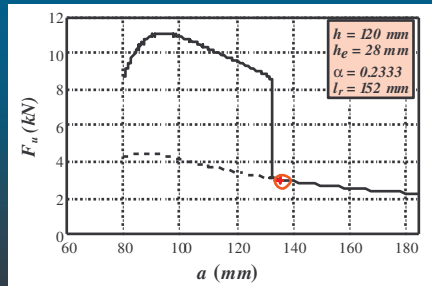
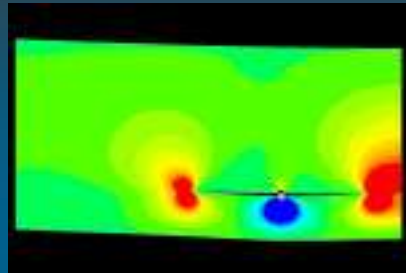
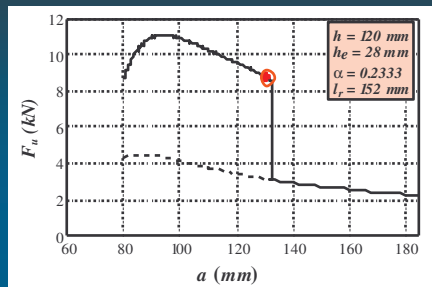
Analisi numeriche



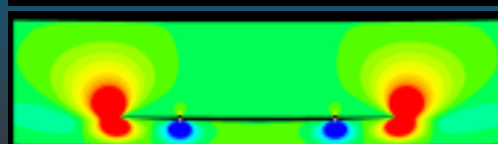
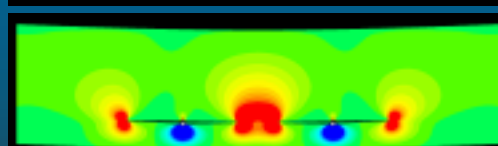
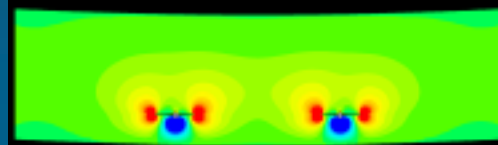
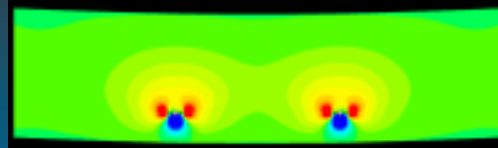
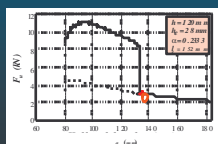
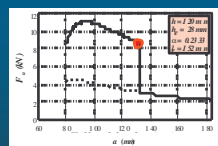
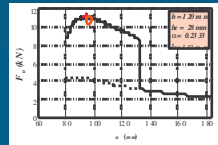
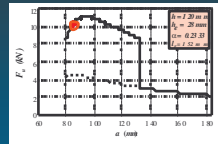
Analisi numeriche



Analisi numeriche

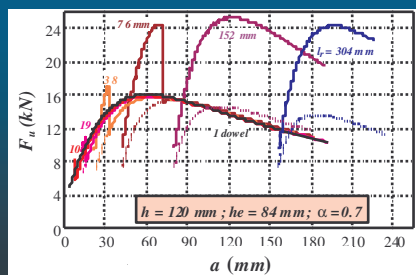
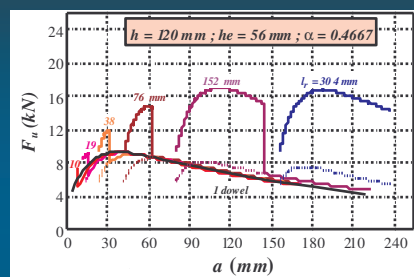
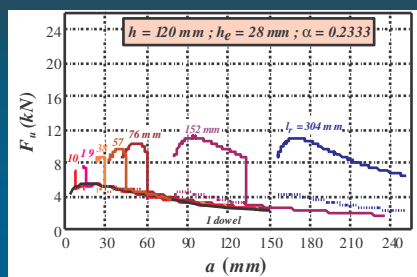


Analisi numeriche



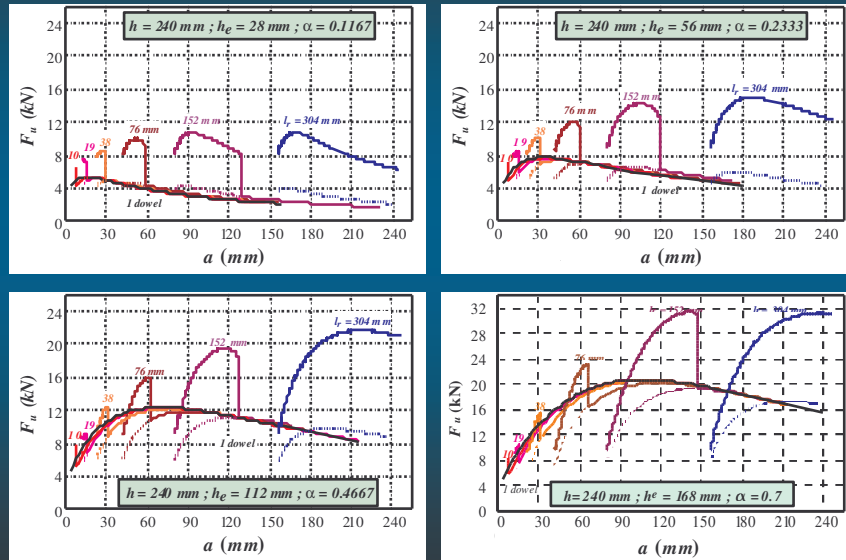
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori



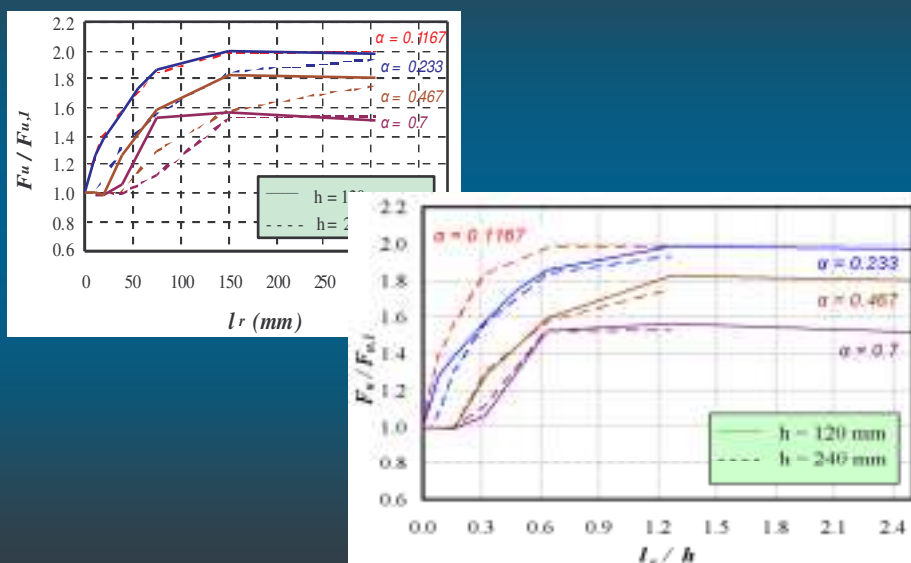
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori



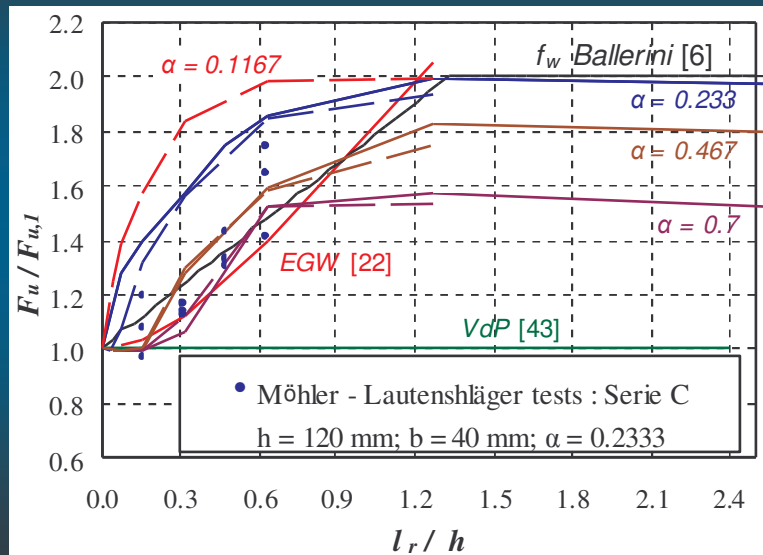
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori



Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 riga di 2 connettori

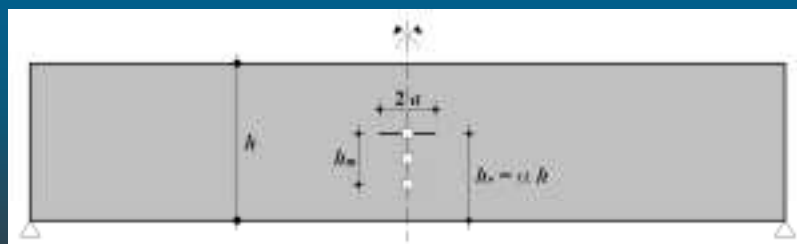


Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 colonna di connettori

Questa parte del lavoro si è concentrata sull'investigazione dell'effetto di h_m e il numero di righe n

In questo caso le dimensioni della trave e i valori di α sono stati assunti uguali a quelli dei campioni della serie A della ricerca sperimentale di Möhler & Lautenschläger



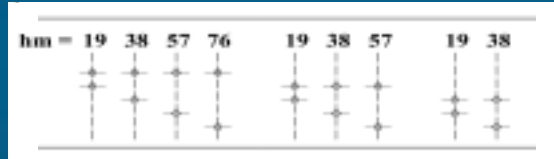
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 colonna di connettori

Questa parte del lavoro si è concentrata sull'investigazione dell'effetto di h_m e il numero di righe n

In dettaglio

per $(n = 2)$ h_m :



$h = 180 \text{ mm}$
 $h_m = 19 \text{ mm}$
 $\alpha = 0.58$

$h = 180 \text{ mm}$
 $h_m = 76 \text{ mm}$
 $\alpha = 0.58$

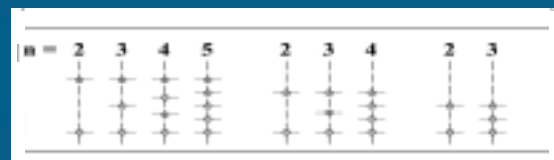
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 colonna di connettori

Questa parte del lavoro si è concentrata sull'investigazione dell'effetto di h_m e il numero di righe n

In dettaglio

per n :

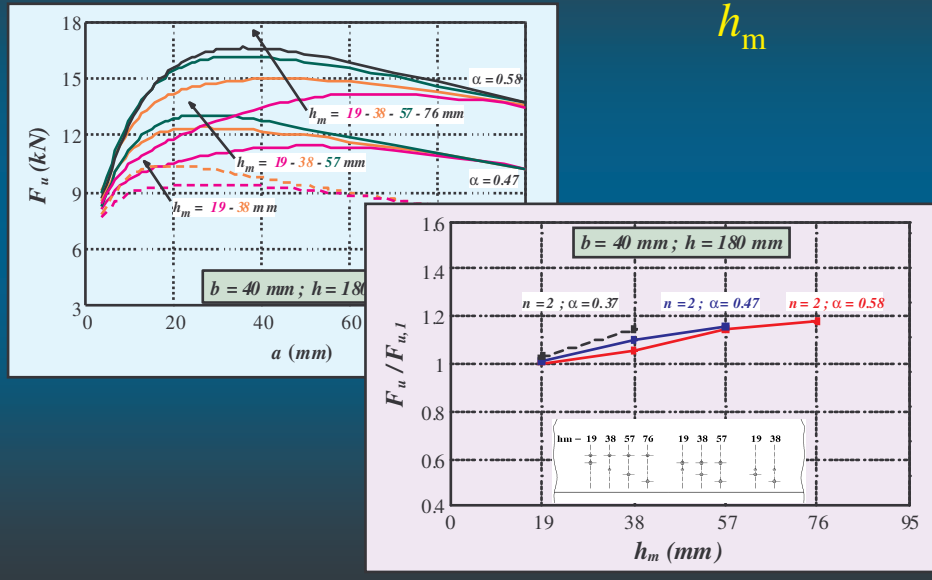


$h = 180 \text{ mm}$
 $h_m = 76 \text{ mm}$
 $n = 2$

$h = 180 \text{ mm}$
 $h_m = 76 \text{ mm}$
 $n = 4$

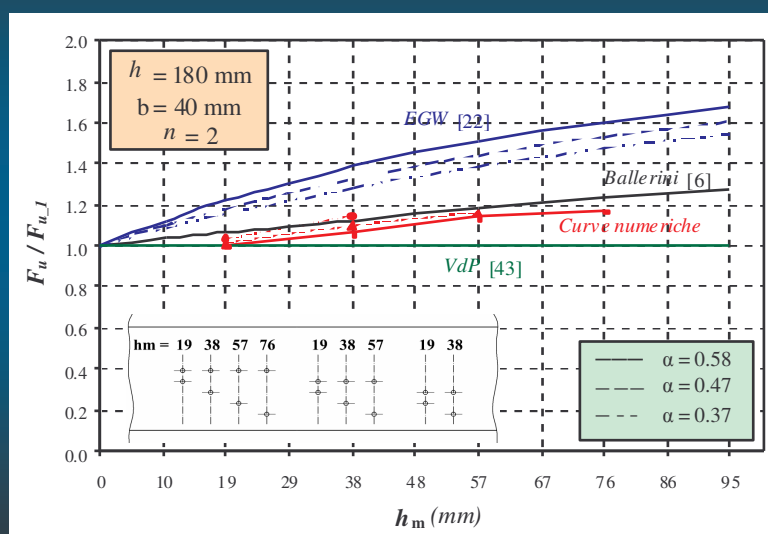
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 colonna di connettori



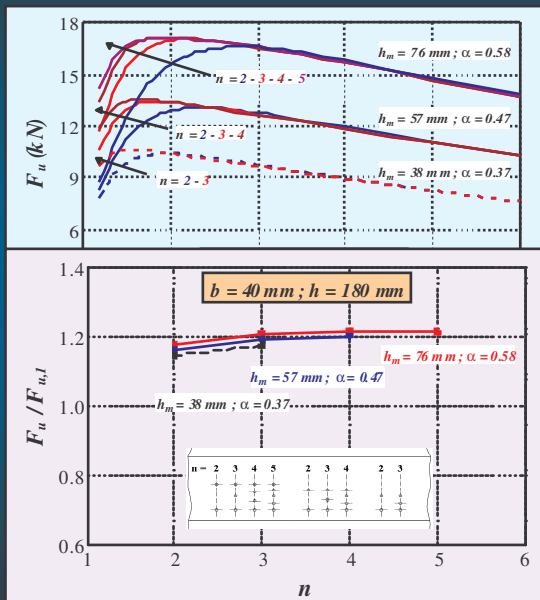
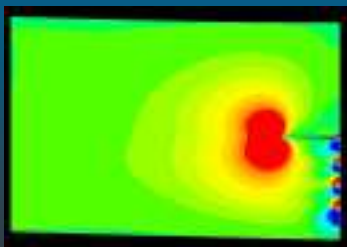
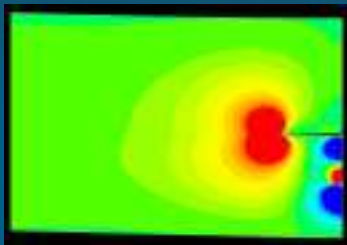
Analisi numeriche

Analisi di travi con 1 colonna di connettori



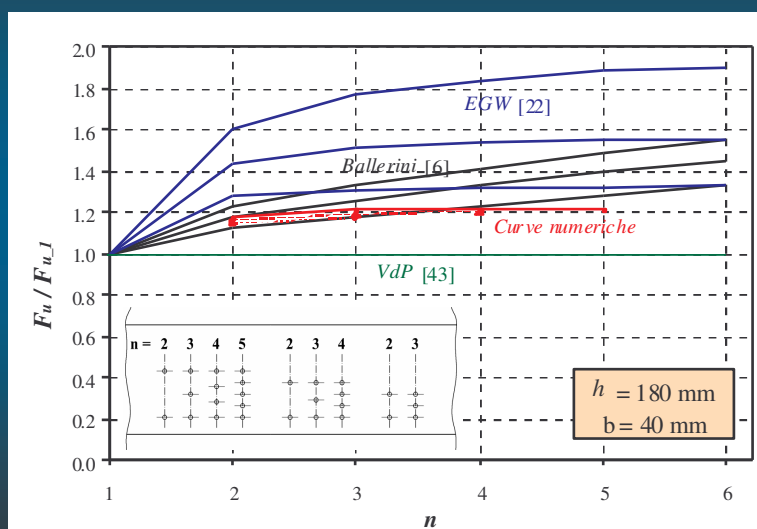
Analisi numeriche

n



Analisi numeriche

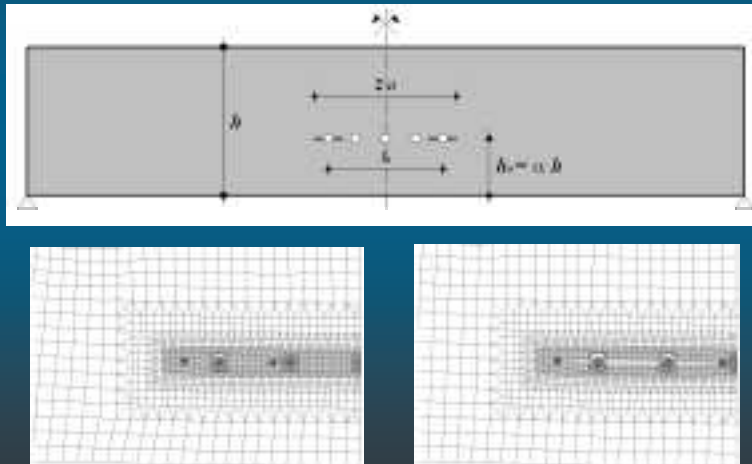
Analisi di travi con 1 colonna di connettori



Analisi numeriche

Caso studio di 1 riga di 5 connettori

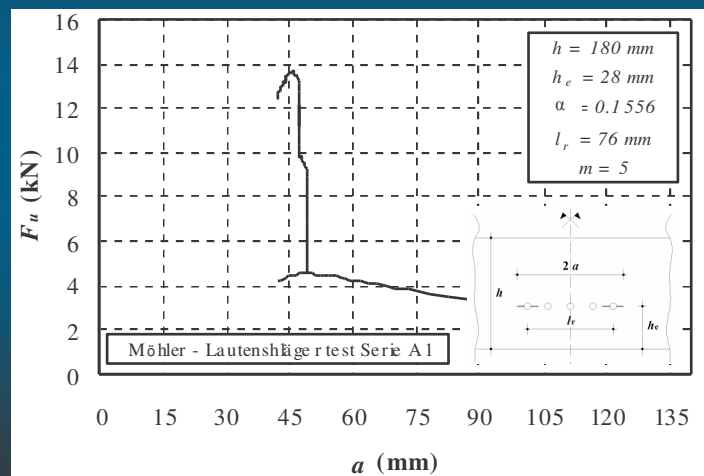
In questo caso si è considerato il campione della serie A1 della ricerca sperimentale di Möhler & Lautenshläger



Analisi numeriche

Caso studio di 1 riga di 5 connettori

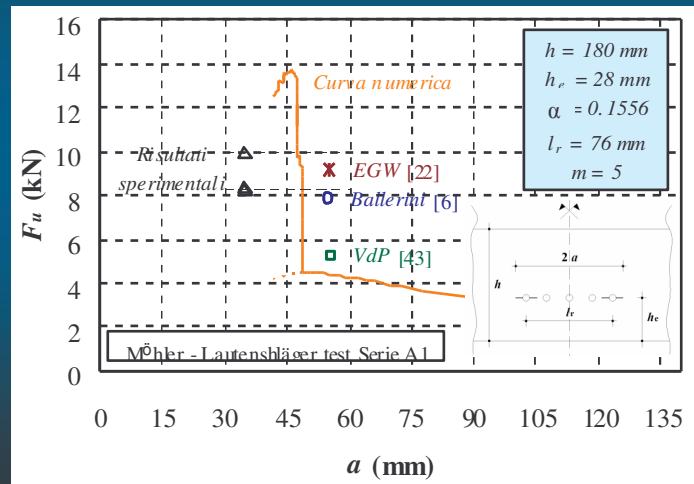
In questo caso si è considerato il campione della serie A1 della ricerca sperimentale di Möhler & Lautenshläger



Analisi numeriche

Caso studio di 1 riga di 5 connettori

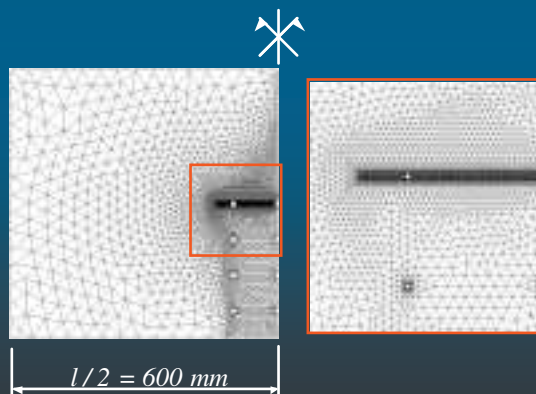
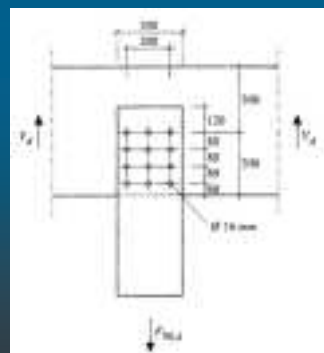
In questo caso si è considerato il campione della **serie A1** della ricerca sperimentale di **Möhler & Lautenshläger**



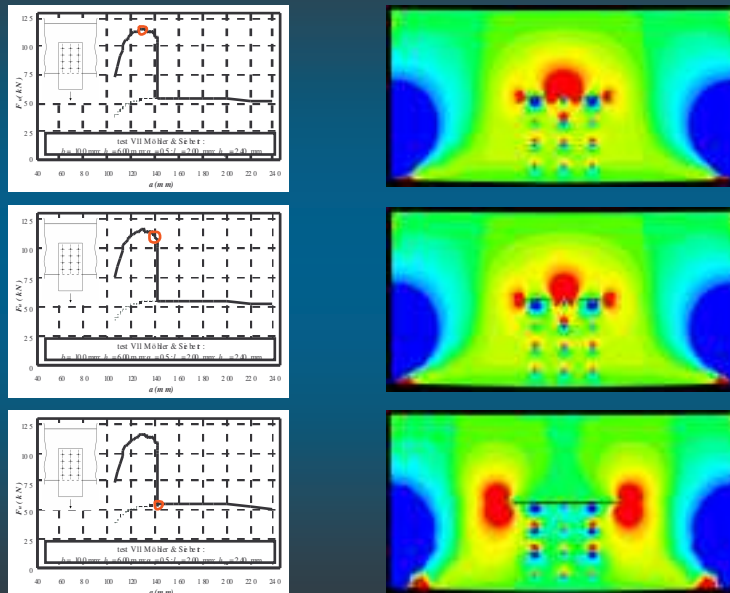
Analisi numeriche

Caso studio di connessione con elevato numero di connettori
trave caricata da una connessione più realistica corrispondente al campione **V11** della ricerca sperimentale di **Möhler & Siebert**

Questo risultato sperimentale è stato considerato anche in un esempio nella **lezione C2** dello **Step 1** a scopo di confronto

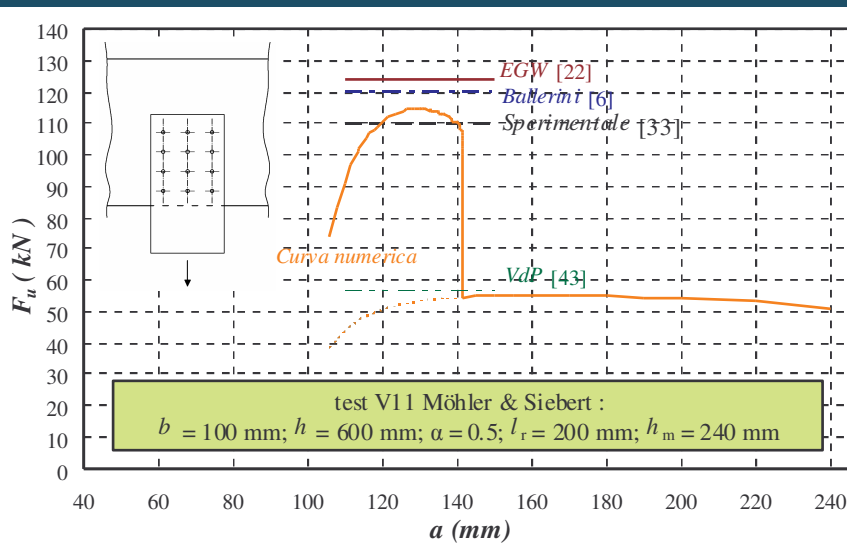


Analisi numeriche



Analisi numeriche

Caso studio di connessione con elevato numero di connettori



Conclusioni

- ❖ validità di un approccio numerico nell'ambito della **LEFM** per la determinazione del carico di rottura per splitting
- ❖ validazione dei risultati ottenuti in **ANSYS** per le travi con un singolo pemo attraverso il confronto con **ABAQUS**
- ❖ elevato incremento sulla resistenza a splitting delle travi della larghezza della connessione l_r , che raggiunge anche il **100%** nel caso di $\alpha \leq 0.25$
- ❖ per valori di α elevati (**0.7**) l'incremento sulla resistenza della larghezza l_r è limitato a circa il **50%**

Conclusioni

- ❖ **ridotta influenza** di h_m ed n sulla resistenza a splitting delle travi, non confermato né dai risultati sperimentali, né dalle formule di letteratura
- ❖ i due **casi studio** considerati hanno evidenziato una sovrastima della resistenza della trave nel primo, e una buona capacità di predizione nel secondo

Sviluppi futuri

- ❖ ulteriori analisi numeriche per la determinazione dell'influenza dei parametri geometrici della connessione
- ❖ studio di **differenti geometrie** delle connessioni disposte anche in posizioni diverse dalla mezzera della trave
- ❖ lo sviluppo di una **formula di predizione** del carico di rottura sulla base dei risultati numerici e sperimentali

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Civile
Indirizzo Strutture

Grazie per la cortese attenzione

Relatore:
dott. ing. Marco Ballerini

Laureando:
Mirko Rizzi