



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



BAMBÙ NELL' EDILIZIA: ATTUALI USI E PROSPETTIVE

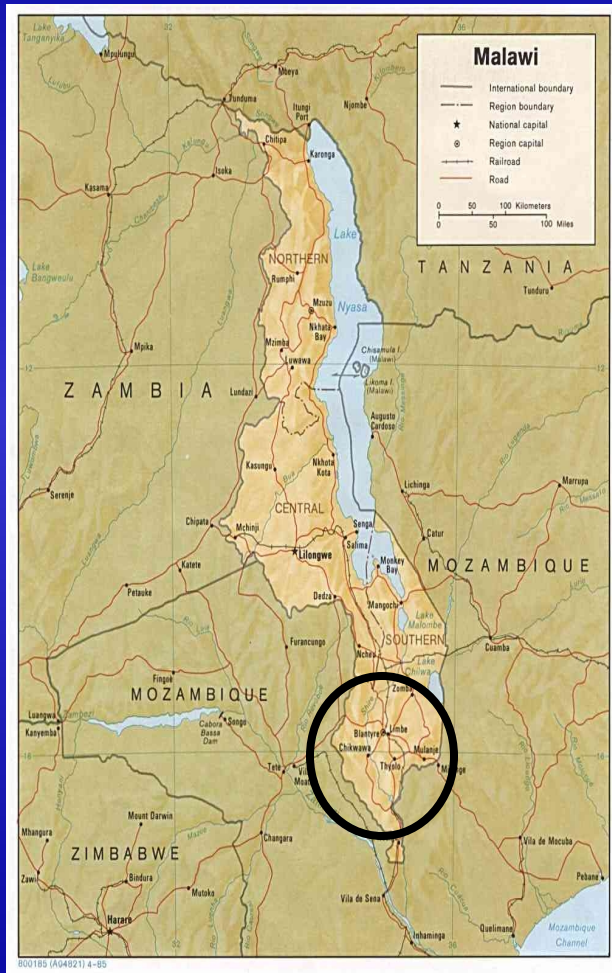
**COPERTURE SISMORESISTENTI IN BAMBÙ:  
PROVE SPERIMENTALI ED ASPETTI PROGETTUALI  
PER EDIFICI A BASSO COSTO**

PISA, 1/4/2008

## Obiettivi della tesi:

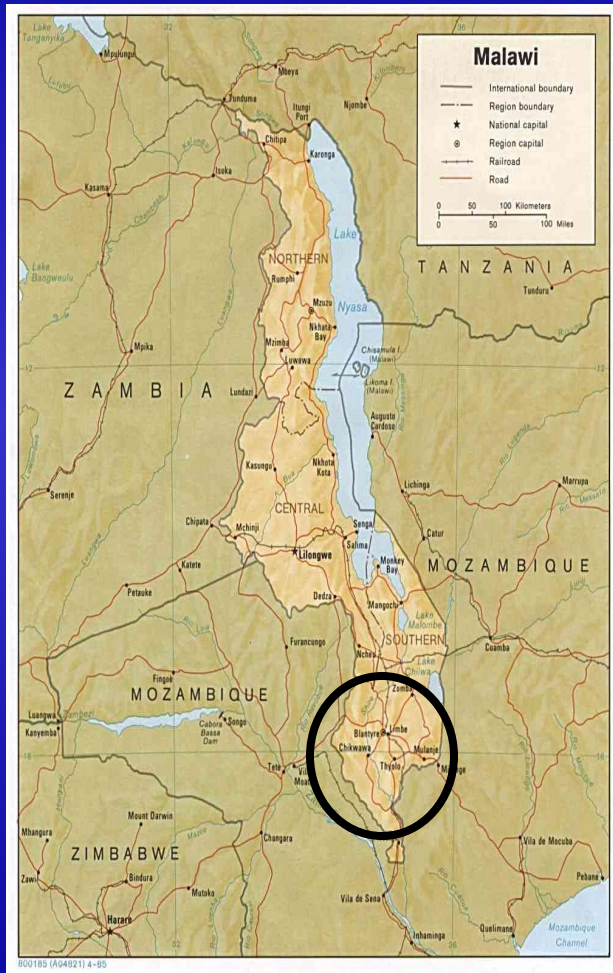
- 1 - ESAMINARE LE PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEL BAMBÙ, LO STATO DELL'ARTE DELLE COSTRUZIONI E DEI COLLEGAMENTI NELLE STRUTTURE ESISTENTI
  
  - 2 - RICERCARE UN SISTEMA DI UNIONE FRA CANNE DI BAMBÙ PER POTER ESSERE UTILIZZATO IN SITUAZIONI DI PRECARE RISORSE ECONOMICHE
-

# MALAWI



AL FINE DI RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI DELLA TESI, NELL'OTTOBRE 2006 HO POTUTO FREQUENTARE IL POLITECNICO DEL MALAWI, SITUATO NELLA CITTÀ DI BLANTYRE. IN QUESTO PERIODO È STATO PENSATO IL MODO PER EFFETTUARE IL COLLEGAMENTO, SONO STATI RICERCATI I MATERIALI PIÙ ADATTI, PREPARATI E SVOLTI I TEST.

# MALAWI



**AFRICA SUBSAHARIANA: 9°-17° SUD  
ALTOPIANI FRA 900 E 1200 M**

**12 MILIONI DI PERSONE, 90% VIVE NELLE  
ZONE RURALI**

**IL 65% DELLA POPOLAZIONE VIVE SOTTO  
LA SOGLIA DI POVERTÀ E  
GUADAGNA MENO DI UN DOLLARO AL GIORNO**

**ASPETTATIVA DI VITA MEDIA 46-47 ANNI**

**INDIPENDENTE DAL 1963 MA DI FATTO  
SOTTOPOSTO A REGIME AUTORITARIO  
FIN AL 1990**

# PROPRIETÀ FISICHE DEL BAMBÙ



A LIVELLO MICROSCOPICO LA CANNA DI BAMBÙ È  
COMPOSTA DA:

40% FIBRE

10% VASI

50% PARENCHIMA

LA SEZIONE LONGITUDINALE DELLA CANNA  
È COMPOSTA DA:

1 — INTERNODO

2 - NODO

3 - DIAFRAMMA



# PROPRIETÀ MECCANICHE DEL BAMBÙ

IL BAMBÙ È UN MATERIALE ANISOTROPO E LA RESISTENZA È DIRETTAMENTE COLLEGATA ALLA CARATTERISTICHE FISICHE ED ALLA SPECIE E CONSIDERATA

Modulo Elastico	1800 KN/cm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione	15,0 KN/cm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione	3,9 KN/cm <sup>2</sup>
Resistenza a flessione	7 KN/cm <sup>2</sup>

*GUADUA ANGUSTIFOLIA*

LA ROTTURA È SPESSO ACCOMPAGNATA DA FESSURE LONGITUDINALI, PER CUI SE LA VELOCITÀ CON CUI INCREMENTA IL CARICO NON È TROPPO ALTA È POSSIBILE CAPIRE QUANDO SI È VICINO ALLA ROTTURA E "RIPARARE" IL CAMPO DANNEGGIATO

---

# STATO DELL'ARTE



1 – EDIFICI DI EMERGENZA E  
ABITAZIONI RURALI

2 – PADIGLIONI

3 – IMPALCATURE

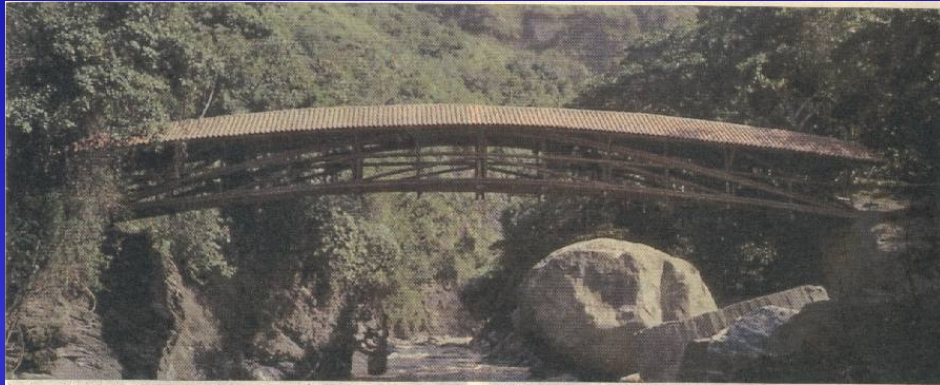
4 – ELEMENTO DI RINFORZO PER  
CALCESTRUZZO

5 – PASSERELLE PEDONALI

6 – BAMBÙ LAMINATO

---

# STATO DELL'ARTE



1 – EDIFICI DI EMERGENZA E  
ABITAZIONI RURALI

2 – PADIGLIONI

3 – IMPALCATURE

4 – ELEMENTO DI RINFORZO PER  
CALCESTRUZZO

5 – PASSERELLE PEDONALI

6 – BAMBÙ LAMINATO





# STATO DELL'ARTE



1 – EDIFICI DI EMERGENZA E  
ABITAZIONI RURALI

2 – PADIGLIONI

3 – IMPALCATURE

4 – ELEMENTO DI RINFORZO PER  
CALCESTRUZZO

5 – PASSERELLE PEDONALI

6 – BAMBÙ LAMINATO

---

## PROBLEMA INIZIALE

IL PROBLEMA AFFRONTATO E I TEST SVOLTI PRESSO IL POLITECNICO DEL MALAWI HA RIGUARDATO LA RICERCA DI UN SISTEMA DI COLLEGAMENTO FRA CANNE DI BAMBÙ CHE POSSEDESSE DETERMINATI REQUISITI:

- 1 — POSSA FORNIRE LA NECESSARIA RESISTENZA
  - 2 — SIA FACILMENTE REALIZZABILE
  - 3 — POSSA ESSERE REALIZZATO COL MINIMO COSTO
  - 4 — IMPIEGHI MATERIALI FACILMENTE REPERIBILI
-

LA SOLUZIONE SCELTA È STATA ATTRAVERSO PIATTI IN LEGNO MULTISTRATO, IMBULLONATI ALLA CANNA ATTRAVERSO TRE BULLONI  $\Phi 8$ . LA PARTE TERMINALE DELLA CANNA È STATA RINFORZATA ATTRAVERSO UN CILINDRO IN LEGNO FABBRICATO SU MISURA DEI PROVINI A DISPOSIZIONE PER I TEST, LA SUA ADERENZA ALLA CANNA È STATA GARANTITA DA 12 VITI AUTOFIETTANTI. LO SPESSORE DEI PIATTI È DI 4 E 6 MM.

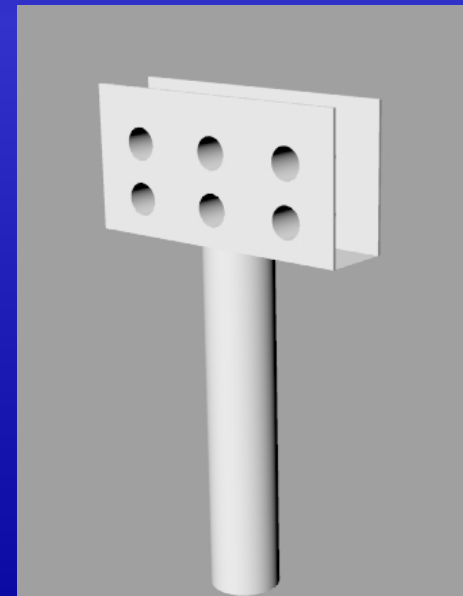


## PREPARAZIONE DEI PROVINI

I TEST SONO STATI EFFETTUATI SECONDO DUE CONFIGURAZIONI:

| —

UNICA CANNA CON PIATTO IN LEGNO MULTISTRATO A CIASCUNA ESTREMITÀ E COLLEGATO ALLA MACCHINA DI PROVA ATTRAVERSO UNA SUPPORTO IN ACCIAIO



# PREPARAZIONE DEI PROVINI

1 TEST SONO STATI EFFETTUATI SECONDO DUE CONFIGURAZIONI:

2 — DUE CANNE, COLLEGATE MEDIANTE PIATTO IN LEGNO MULTISTRATO DA UN LATO E SUPPORTO IN ACCIAIO DALL'ALTRO



## MACCHINA DI PROVA

I TEST SONO STATI EFFETTUATI NEL LABORATORIO DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE DEL POLITECNICO DEL MALAWI. LA MACCHINA DI PROVA UTILIZZATA È AVERY-DENISON LA CUI RISOLUZIONE È 50 DAN E IL CARICO MASSIMO REGISTRABILE È 1000 KN



# PROVE COLLEGAMENTO SINGOLO

LA LUNGHEZZA DEI PEZZI TESTATI È 470 MM

CIASCUN PEZZO È STATO CLASSIFICATO CON UN NUMERO

CIASCUNA ESTREMITÀ È STATA CONTRASSEGNAZIONE CON UNA LETTERA

È STATO REGISTRATO IL DIAMETRO E LO SPESSORE DI CIASCUNA ESTREMITÀ ED I VALORI MASSIMI E MINIMI LUNGO LA CANNA

PER CONTROLLARE L'EVENTUALE FORMAZIONE DI FESSURE SONO STATE VERNICIATE LE ESTREMITÀ DELLA CANNA E IL PIATTO

Numero	$\phi$ a esterno max	$\phi$ a esterno min	$\phi$ a interno max	$\phi$ a interno min	$\phi$ b esterno max	$\phi$ b esterno min	$\phi$ b interno max	$\phi$ b interno min	$\phi$ esterno min	Sa max	Sa min	Sb max	Sb min
1	46	44	33	33	45	43	29	29	43	7	7	7	7
2	45	43	29	29	48	47	30	30	43	8	7	12	7
3	45	43	34	34	45	43	33	33	40	5	5	4	4
4	44	44	31	31	44	44	30	30	43	6	5	6	5
5	45	44	32	32	45	44	33	33	42	5	5	5	5
6	42	41	28	28	43	43	29	29	41	8	5	7	6

# PROVE COLLEGAMENTO SINGOLO

## RISULTATI

Tipo test	Provino	N (daN)	S piatto (cm)	# bulloni	D bulloni (cm)	$\sigma_{rif}$ (daN/cm <sup>2</sup> )
<u>Singolo</u>	6	450	0,4	3	0,8	468,75
	5	400	0,4	3	0,8	416,67
	2	550	0,4	3	0,8	572,92
	3	800	0,6	3	0,8	555,56
	1	840	0,6	3	0,8	583,33
	4	850	0,6	3	0,8	590,28

## OSSERVAZIONI

LA ROTTURA È SEMPRE AVVENUTA PER RIFOLLAMENTO DEL PIATTO DI COMPENSATO ATTORNO AI GAMBI DEI BULLONI. LE PRIME DUE PROVE SONO STATE CONDOTTE CON VELOCITÀ DI INCREMENTO DEI CARICHI TROPPO ELEVATA E CIÒ HA CAUSATO ROTTURA PER MATURA DEL COLLEGAMENTO. IN NESSUNA PROVA IL BAMBÙ HA MANIFESTATO SEGNI DI CEDIMENTO



# PROVE COLLEGAMENTO A DUE ELEMENTI (1° FASE)

LA LUNGHEZZA DEI PEZZI TESTATI È 600 MM

LA PREPARAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI PROVINI È STATA IDENTICA A QUELLA EFFETTUATA PER I TEST PRECEDENTI

Numero	$\phi$ a esterno max	$\phi$ a esterno min	$\phi$ a interno max	$\phi$ a interno min	$\phi$ b esterno max	$\phi$ b esterno min	$\phi$ b interno max	$\phi$ b interno min	$\phi$ esterno min	Sa max	Sa min	Sb max	Sb min
1	53	52	36	36	53	51	33	33	49	9	7	9	8
2	47	46	28	28	47	46	28	28	46	9	8	10	8
3	40	39	30	30	44	43	31	31	39	5	5	5	5
4	45	43	33	33	49	46	36	36	43	4	4	5	5
5	43	40	30	30	45	43	30	30	40	5	5	5	5
6	45	43	32	32	43	42	30	30	42	7	5	7	5
7	49	47	37	37	51	50	38	38	47	5	5	5	5
8	52	49	36	36	54	52	38	38	49	7	6	7	6
9	44	43	29	29	41	40	25	25	40	7	6	8	7
10	48	47	36	36	52	49	38	38	47	7	6	5	5
11	50	48	28	28	53	49	27	27	48	10	8	12	10
12	47	44	30	30	49	47	29	29	44	9	7	11	8

# PROVE COLLEGAMENTO A DUE ELEMENTI (1° FASE)

## RISULTATI

Tipo test	Provino	N (daN)	S piatto (cm)	# bulloni	D bulloni (cm)	$\sigma_{rif}$ (daN/cm <sup>2</sup> )
Doppio 1° Fase	11	750	0,6	3	0,8	300,7
	7	1100	0,6	3	0,8	441,03
	1	970	0,6	3	0,8	388,91
	2	700	0,4	3	0,8	420,98

## OSSERVAZIONI

LE DIFFICOLTÀ NEL PREPARARE I PROVINI HANNO PROVOCATO IMPERFEZIONI INIZIALI CHE HANNO CONDIZIONATO LE PROVE. CIÒ PUÒ SIMULARE UNA REALE SITUAZIONE DI CANTIERE MA I TEST EFFETTUATI NON FORNISCONO INFORMAZIONI PRECISE SULLA REALE CAPACITÀ DEL COLLEGAMENTO



# PROVE COLLEGAMENTO A DUE ELEMENTI (2° FASE)

DATO CHE LE PRIME PROVE NON HANNO POTUTO FORNIRE LE INFORMAZIONI CERCATE È STATO DECISO DI EFFETTUARE UN'ALTRA SERIE DI TEST. I PEZZI SONO STATI PREPARATI COME ERA STATO FATTO PRECEDENTEMENTE.

Numero	$\phi$ a esterno max	$\phi$ a esterno min	$\phi$ a interno max	$\phi$ a interno min	$\phi$ b esterno max	$\phi$ b esterno min	$\phi$ b interno max	$\phi$ b interno min	Sa max	Sa min	Sb max	Sb min
1	54	54	23	23	54	48	25	24	9	7	9	8
2	51	50	26	26	49	46	30	29	9	8	10	8
3	57	52	26	25	52	51	28	27	5	5	5	5
4	57	52	32	31	51	49	30	28	4	4	5	5
5	51	50	30	29	50	48	32	31	5	5	5	5
6	50	49	32	31	50	48	34	34	7	5	7	5

# PROVE COLLEGAMENTO A DUE ELEMENTI (2° FASE)

## RISULTATI

Tipo test	Provino	N (daN)	S piatto (cm)	# bulloni	D bulloni (cm)	$\sigma_{rif}$ (daN/cm <sup>2</sup> )
Doppio 2° Fase	1	1380	0,4	6	1,2	479,17
	3	1300	0,4	6	1,2	451,39
	5	1400	0,4	6	1,2	486,11

## OSSERVAZIONI

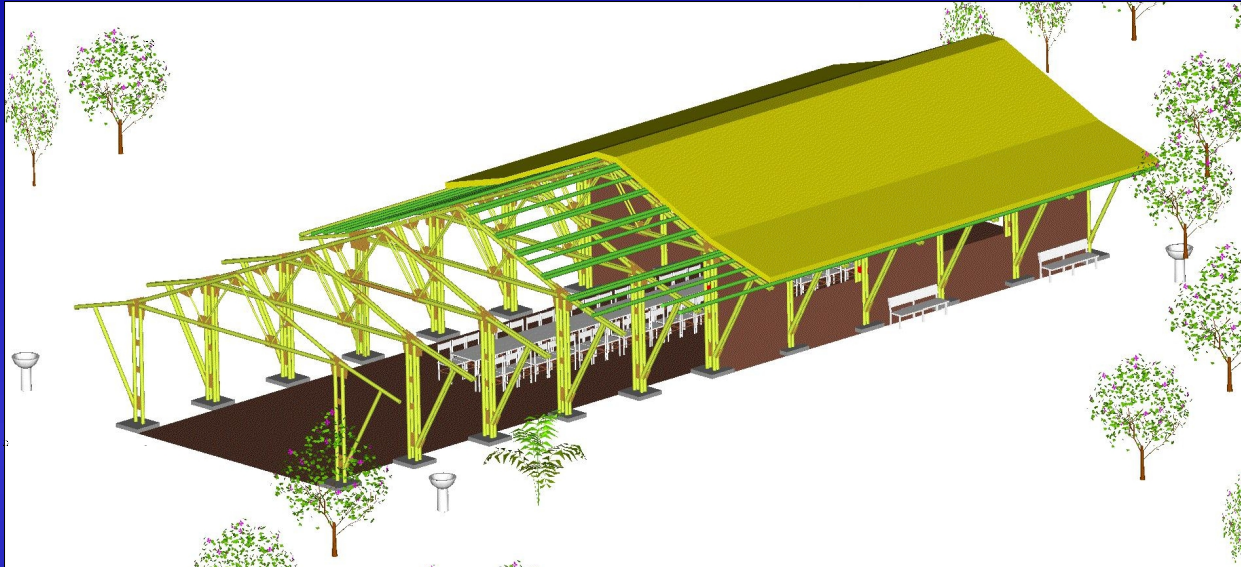
IN QUESTO CASO I PEZZI SONO STATI PREPARATI SENZA PRESENTARE SIGNIFICATIVE IMPERFEZIONI INIZIALI.

LA CRISI È AVVENUTA NEL COLLEGAMENTO SUPERIORE FRA IL PROVINO E LA MACCHINA DI PROVA.

AMMETTENDO CHE LA ROTTURA SIA EFFETTIVAMENTE LOCALIZZATA NEL PIATTO IN LEGNO MULTISTRATO, I TEST POSSONO UGUALMENTE ESSERE IMPIEGATI PER STABILIRE LA MASSIMA PRESSIONE AMMISSIBILE DAL LEGNO MULTISTRATO.

CON POCA ESPERIENZA È STATO POSSIBILE DA PARTE DELL'OPERATORE REALIZZARE IL COLLEGAMENTO CON OTTIMI RISULTATI

# ESEMPIO APPLICATIVO : SALA AGGREGATIVA IN BAMBÙ



LE DIMENSIONI IN PIANTA SONO 25X11,40M

I TELAI SONO DISTRIBUITI A COPPIE CON PASSO DI 2,50M

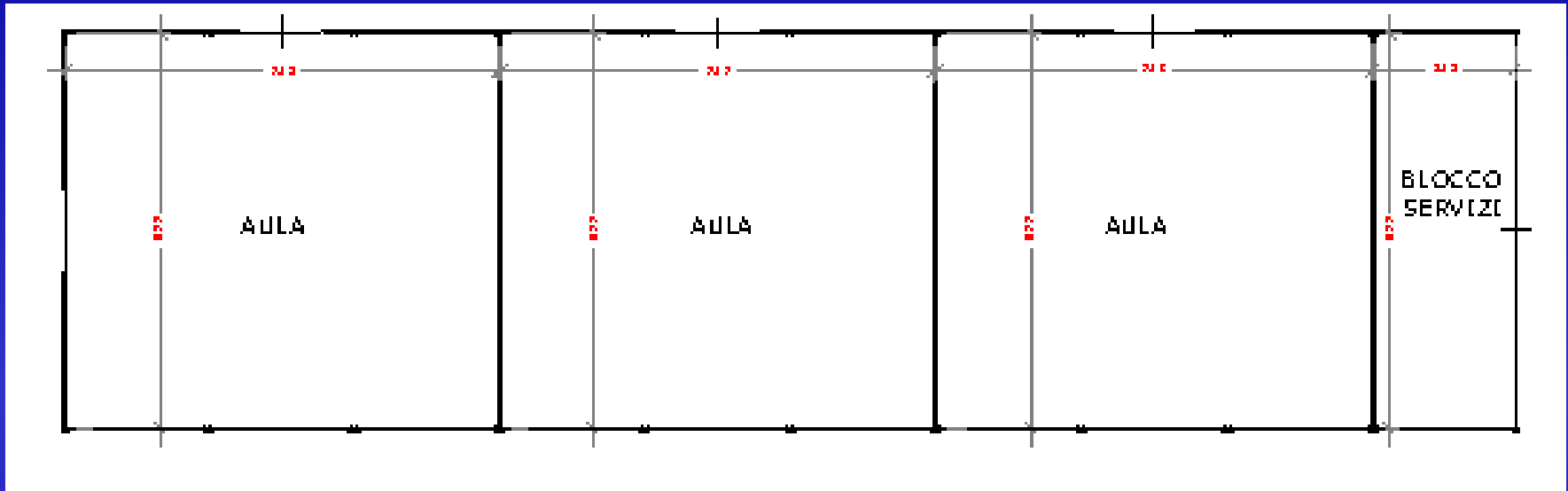
LA COPERTURA È REALIZZATA MEDIANTE MATERIALE VEGETALE DI 15CM DI SPESSORE I CARICHI VERTICALI SONO RIPORTATI AI TELAI PRINCIPALI ATTRAVERSO ARCARECCI

LA TRAVE RETICOLARE È DI 7M DI LUCE, I CORRENTI SUPERIORE E INFERIORE, GLI ARCARECCI E LE COLONNE SONO REALIZZATI MEDIANTE  $\Phi 100/10$

LE COLONNE SONO FORMATE DA 4 ELEMENTI IN MODO DA REALIZZARE UN INCASTRO ALLA BASE

I MURI SONO REALIZZATI INTONACANDO CON TERRA CRUDA DUE SUPPORTI IN BAMBÙ LAMINATO ED INTRECCIATO CHE A LORO VOLTA SONO ANCORATI ALLE COLONNE

# ESEMPIO APPLICATIVO : SALA AGGREGATIVA IN BAMBÙ



LE DIMENSIONI IN PIANTA SONO 25X11,40M

I TELAI SONO DISTRIBUITI A COPPIE CON PASSO DI 2,50M

LA COPERTURA È REALIZZATA MEDIANTE MATERIALE VEGETALE DI 15CM DI SPESSORE I CARICHI VERTICALI SONO RIPORTATI AI TELAI PRINCIPALI ATTRAVERSO ARCARECCI

LA TRAVE RETICOLARE È DI 7M DI LUCE, I CORRENTI SUPERIORE E INFERIORE, GLI ARCARECCI E LE COLONNE SONO REALIZZATI MEDIANTE  $\Phi$ 100/10

LE COLONNE SONO FORMATE DA 4 ELEMENTI IN MODO DA REALIZZARE UN INCASTRO ALLA BASE

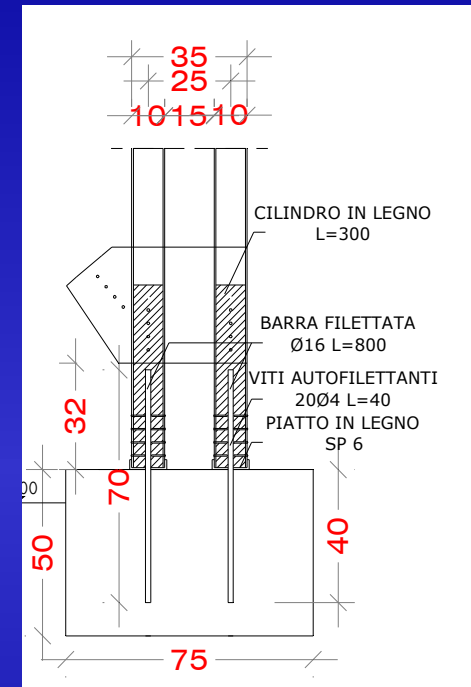
I MURI SONO REALIZZATI INTONACANDO CON TERRA CRUDA DUE SUPPORTI IN BAMBÙ LAMINATO ED INTRECCIATO CHE A LORO VOLTA SONO ANCORATI ALLE COLONNE







# ESEMPIO APPLICATIVO : SALA AGGREGATIVA IN BAMBÙ



PARTICOLARE ATTENZIONE È STATA POSTA:

- | PROGETTAZIONE DEI COLLEGAMENTI, DOPO AVER EFFETTUATO L'ANALISI È STATA DETERMINATA LA PRESSIONE DI RIFOLLAMENTO CORRISPONDENTE A CIASCUN BULLONE
- | COLLEGAMENTO DI FONDAZIONE
- | PROTEZIONE CONTRO I RAGGI SOLARI E AGENTI ESTERNI

# ESEMPIO APPLICATIVO : SALA AGGREGATIVA IN BAMBÙ

LE VERIFICHE SONO STATE CONDOTTE SEGUENDO LE NORME ISO/DIS 22156 "BAMBOO STRUCTURAL DESIGN", PRIMO CODICE INTERNAZIONALE SPECIFICO PER LE STRUTTURE IN BAMBÙ. LA  $\sigma_{AMM}$  È STATA DETERMINATA:

$$\sigma_{all} = R_k \times G \times D / S \text{ DOVE:}$$

$\sigma_{ALL}$  È LA TENSIONE AMMISSIBILE IN N/MM<sup>2</sup> ,

$R_k$  È IL VALORE CARATTERISTICO

$G$  TIENE CONTO DELLA DIFFERENZA FRA I VALORI DI LABORATORIO E QUELLI REALI; DI DEFAULT È 0.5,

$D$  È IL FATTORE MODIFICATIVO A CAUSA DELLA DURATA DEL CARICO:

1.0 PER CARICHI PERMANENTI

1,25 PER PERMANENTI PIÙ CARICHI VARIABILI

1,5 PER QUELLI SOPRA PIÙ IL VENTO

$S$  È IL FATTORE DI SICUREZZA, 2,25 DI DEFAULT.

LA NORMA CONSENTE DI IMPIEGARE TECNICHE COSTRUTTIVE TRADIZIONALI SE HANNO MANIFESTATO NEL CORSO DEGLI ANNI L'ADEGUATA RESISTENZA

LE IPOTESI EFFETTUATE SONO:

- | I PARAMETRI DI RESISTENZA SONO VALIDI QUELLI FORNITI DAL DOTT. NGOMA
- | PER IL LEGNO MULTISTRATO:  $\sigma_{RIF} = 470 \text{ DAN/CM}^2$
- | IL BAMBÙ È ANALIZZATO COME TUBO CON DIAMETRO E SPESSORE COSTANTE PARI 0,10  $\Phi_{ESTERNO}$