

# **Università degli Studi di Firenze**

Facoltà di Architettura

DIRES

A:A:2003-2004

## **TESI DI LAUREA**

Ex segheria di marmi Fabbricotti a Carrara.  
Ipotesi di riabilitazione strutturale e restauro.

Vol. II

### **Relazione tecnica**



Laureanda: Monica Catalucci  
Relatore: Prof. Silvio Van Riel  
Correlatore: Arch. Gianni Gaggio  
Correlatore: Ing. Luca Lardani

## Indice:

- **Verifiche statiche della copertura.**
  - Carico neve p. 3
  - Verifica travicello a presso flessione p. 5
  - Verifica travicello a taglio p. 11
  - Verifica terza a flessione deviata p. 15
  - Verifica travicello a taglio p. 16
  - Verifica deformabilità della terza p. 20
  - Verifica trave di colmo a flessione semplice p. 21
  - Verifica Capriata Polonceau col Metodo di Coulomb p. 25
  - Conclusioni sulle verifiche della copertura p. 31
  
- **Verifica statica della muratura.**
  - Calcolo delle eccentricità p. 34
  - Calcolo dei coefficienti di riduzione della sezione resistente p. 39
  - Verifica della muratura a compressione p. 40
  
- **Verifica sismica.**
  - Ipotesi sulla rottura p. 41
  - Ipotesi sul comportamento p. 42
  - Ipotesi di rigidezza p. 43
  - Dati necessari ai calcoli sui maschi murari p. 48
  - Tabella riassuntiva sul comportamento dei maschi murari p. 56
  - Conclusioni p. 58
  
- **Anamnesi della copertura.**
  - Orditura secondaria e minore, (terzere e travicelli)**
  - Analisi morfologica p. 59
  - Analisi dei materiali e loro requisiti p. 60
  - Analisi del degrado e quadro fessurativo p. 62
  - Capriata Polonceau**
  - Analisi morfologica p. 66
  - Analisi dei materiali e loro requisiti p. 68
  - Analisi del degrado e quadro fessurativo p. 69
  
- **Interventi di restauro e consolidamento sulla copertura.**
  - Travicelli p. 71
  - Terzere p. 72

Conessioni delle capriate p. 74

- **Valutazione dello stato di conservazione del paramento murario.**

Analisi dei materiali e delle tecniche costruttive p. 76

Analisi del degrado p. 78

Proposte d'intervento p. 84

- **Approfondimenti su particolari.**

Schede tecniche. p. 97

- **Bibliografia.** p. 147

## Verifiche statiche della copertura:

### Carico neve:

$q_s$  = Carico neve sulla copertura =  $\mu_i \cdot q_{sk} = 0,8 \cdot 100 = 80$  kg/m<sup>2</sup>.

Il carico agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

$\mu_i$  = Coefficiente di forma della copertura.

Dipende dalla forma (tetto a due falde con stessa inclinazione) e dalla inclinazione del tetto (angolo di inclinazione =  $\alpha = 17,4^\circ$ ).

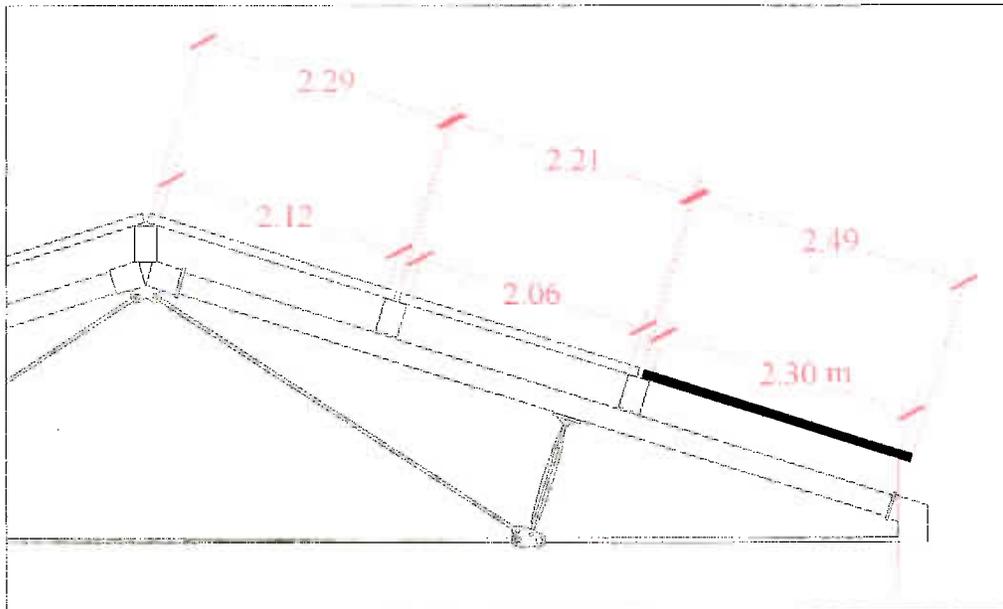
$q_{sk}$  = Valore di riferimento del carico neve al suolo.

Dipende dalla zona geografica in cui si trova l'edificio (Massa Carrara = Zona II) e dall'altitudine ( $a_s$  = altitudine s.l.m. < 200 m).

Provincia di: Massa Carrara	Altitudine s.l.m.:	$q_{sk}$
Zona II	$a_s \leq 200$ m	100 kg/m <sup>2</sup>

Coefficiente di forma:	Inclinazione falde:	$\mu_i$
Tetto a due falde con stessa pendenza	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	-
$\mu_i$	$\alpha = 17,4^\circ$	0,8

## Verifica travicello:



### Analisi dei carichi:

qs:

- Carico neve: 80 kg/m<sup>2</sup>

g:

- Marsigliesi: 60 kg/m<sup>2</sup>
- Pianelle: 30 kg/m<sup>2</sup>
- Peso travicelli al ml:  $(0.075 \times 0.075 \times 600) = 3,375$  kg/m

Peso specifico abete: 600 kg/m<sup>3</sup>

Dimensioni pianelle: 14×28 cm

Interasse travicelli: 24 cm

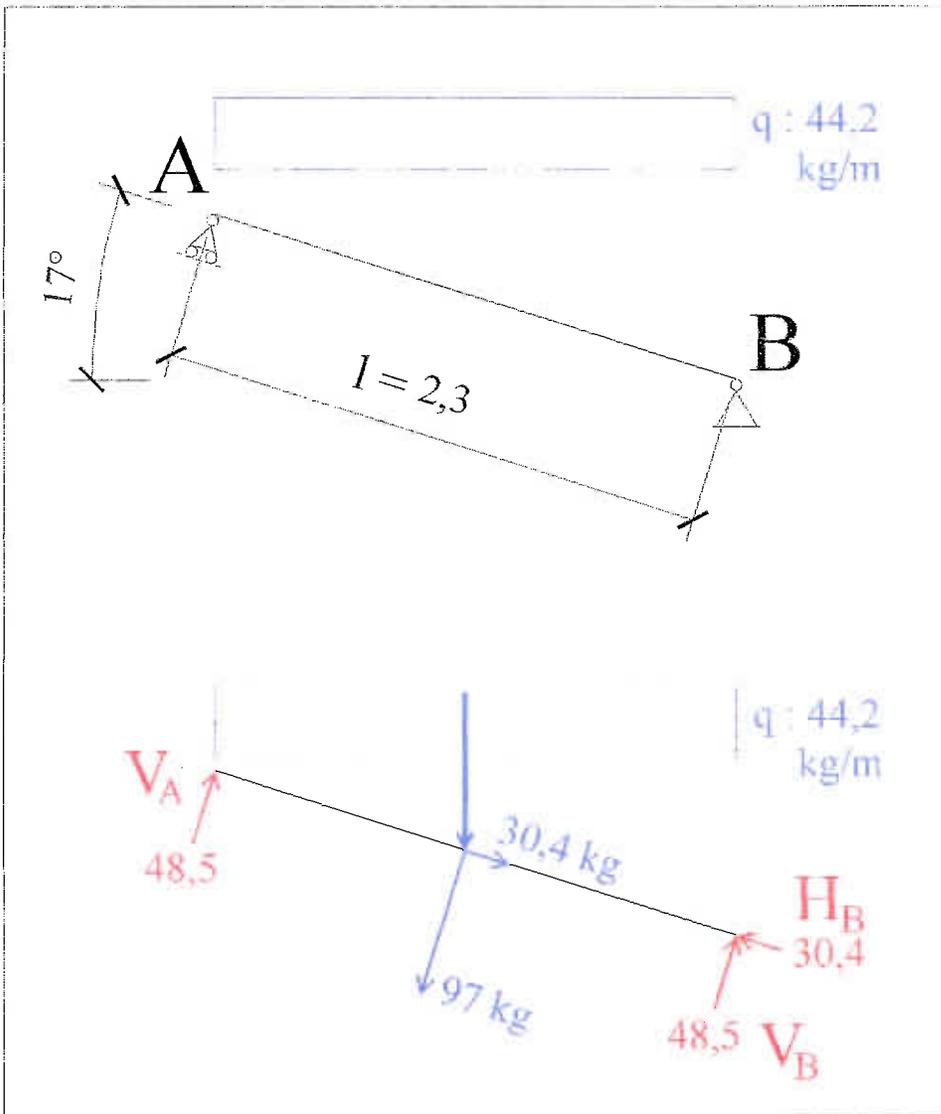
Trasformo il valori in mq in ml:

$$(80 \times 0,24) = 19,2 \text{ kg/m}$$

$$(60+30) \times 0,24 = 21,6 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{tot}} = q_s + g = 19,2 + (21,6+3,375) = 44,2 \text{ kg/m}$$

Schema strutturale:



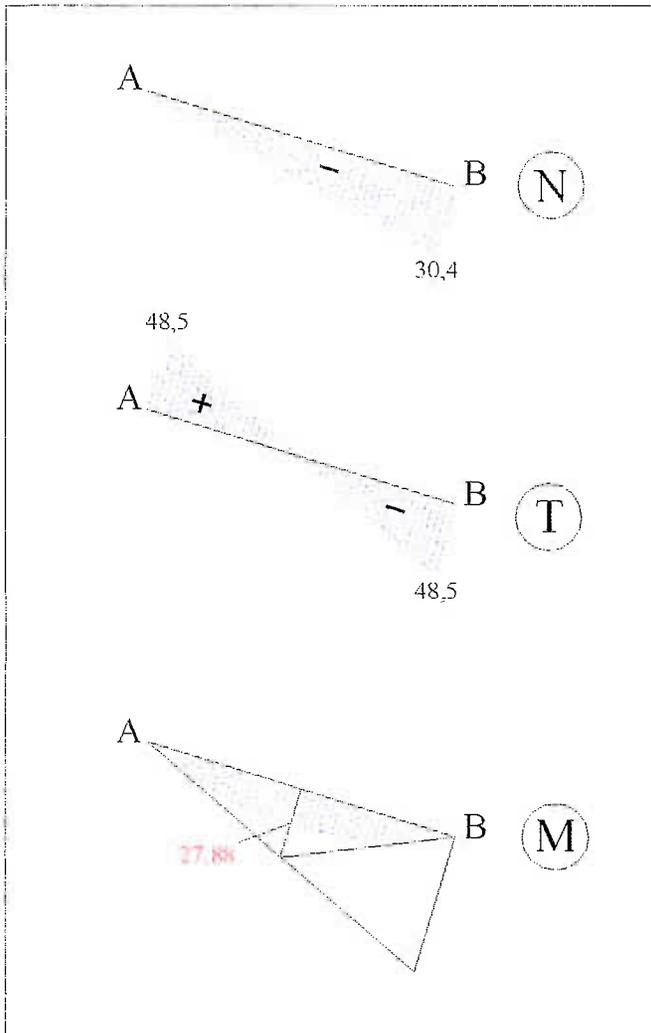
Reazioni:

$$V_A = V_B = \frac{ql}{2} \cdot \cos \alpha = \frac{44,2 \times 2,3}{2} \cos 17,4^\circ = 48,5 \text{ kg}$$

$$V_A = V_B = 48,5 \text{ kg}$$

$$H_B = ql \cdot \sin \alpha = 44,2 \times 2,3 \cdot \sin 17,4^\circ = 30,4 \text{ kg}$$

$$H_B = 30,4 \text{ kg}$$

Diagrammi:Sforzo normale:

$$N_A = 0$$

$$N_B = - 40,30 \text{ kg}$$

Taglio:

$$T_A = + 48,5 \text{ kg}$$

$$T_B = - 48,5 \text{ kg}$$

Momento:

$$M_A = 0$$

$$M_B = 0$$

$$M_{\frac{l}{2}} = M_{\max} = \frac{ql^2}{8} \quad \cos \alpha = \frac{44,2 \times 2,3^2}{8} \quad \cos 17,4 = 27,88 \text{ kg m}$$

$$M_{\max} = 27,88 \text{ kg m}$$

## Caratteristiche del legno:

**Abete:** E' la specie legnosa con la quale sono realizzati i travicelli.  
 Peso specifico:  $600 \text{ kg/m}^3$ .

## e requisiti:

Legno di 2° categoria, resinoso.

Tensione ammissibile, a flessione,

(grado di sicurezza 3) :  $\sigma_f = 102 \text{ kg/cm}^2$

Considerando una riduzione di elasticità per vetustà del 20%, la tensione ammissibile a flessione diventa:

$$(102 - 102/100 \times 20) = (102 - 20,4) = 81,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{amm} = 81,6 \text{ kg/cm}^2$$

## Verifica del travicello a presso flessione:

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{\sigma_f}{\sigma'} \times \frac{\omega \times N}{A} \right| + \left| \frac{M}{c \times W} \right| \leq \sigma_{\text{amm}}$$

Con la verifica a presso flessione si prende in considerazione anche il contributo a compressione dello sforzo.

Di solito però la componente normale all'asse è trascurabile e quindi il travicello si può verificare a pressione semplice.

$$N \frac{1}{2} = \text{Valore dello sforzo normale nella sezione considerata} = \\ = 30,4/2 = 15,2 \text{ kg.}$$

$$\sigma_f = \text{Flessione ammissibile per legno II categoria resinoso} \\ = 102 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma' = \text{Compressione assiale ammissibile per legno II categoria resinoso} \\ = 97 \text{ kg/cm}^2.$$

$$A = \text{Area della sezione del travicello} = 7,5^2 = 56,25 \text{ cm}^2.$$

$\omega$  = Coefficiente di riduzione per carico di punta (valore tabellato).

Dipende da  $\lambda$ , la snellezza dell'elemento considerato,  $\lambda = l_0/\rho$ .

$l_0$  = Luce libera d'inflessione. In questo caso si considera la lunghezza effettiva dell'elemento = 249 cm.

$$I = \text{Momento d'inerzia} = B^4/12 = 7,5^4/12 = 263,67 \text{ cm}^4.$$

$$A = \text{Area della sezione} = 7,5^2 = 56,25 \text{ cm}^2.$$

$$\rho = \text{Raggio giratore d'inerzia} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{263,67}{56,25}} = 2,16 \text{ cm.}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{249}{2,16} = 115,27.$$

$$\text{Per } \lambda = 115,27, \quad \omega = \frac{\lambda^2}{3100} = 4,28.$$

$$M \frac{1}{2} = \text{Momento massimo, in mezzeria} = 27,88 \text{ kg}\cdot\text{m} = 2788 \text{ kg}\cdot\text{cm.}$$

$$W = \text{Modulo di Resistenza (per sezioni quadrate)} = \\ = B^3/6 = 7,5^3/6 = 70,31 \text{ cm}^3.$$

$c$  = Coefficiente di riduzione per la flessione, è in funzione dell'altezza della sezione (valore tabellato) = per  $h < 15 \text{ cm}$ ,  $c = 1,00$ .

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{\sigma_f}{\sigma} \times \frac{\omega \times N}{A} \right| + \left| \frac{M}{c \times W} \right| \leq \sigma_{\text{amm}}$$

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{102}{97} \times \frac{4,28 \times 15,2}{56,25} \right| + \left| \frac{1788}{70,31} \right| =$$

$$= |1,05 \times 1,156| + 39,65 =$$

$$= 40,86 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 40,86 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_{\text{amm}} = 81,6 \text{ kg/cm}^2$$

Lo sforzo di azioni composte, flessione e compressione, che agisce sul travicello è inferiore alla sua tensione ammissibile, quindi: il travicello risulta verificato a presso flessione.

Verifica del travicello a taglio:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot h} \leq \tau_{\text{amm}} \cdot m$$

$$T_A = T_B = 48,5 \text{ kg}$$

$$\tau_{\text{amm}} = \text{per legno resinoso, II categoria} = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$m$  : è in funzione dell'area della sezione

$$A = 7,5 \times 7,5 = 56,25 \text{ cm}^2$$

Per  $50 < A < 100$

$$m = \frac{A}{50} - 1 = \frac{56,25}{50} - 1 = 0,125$$

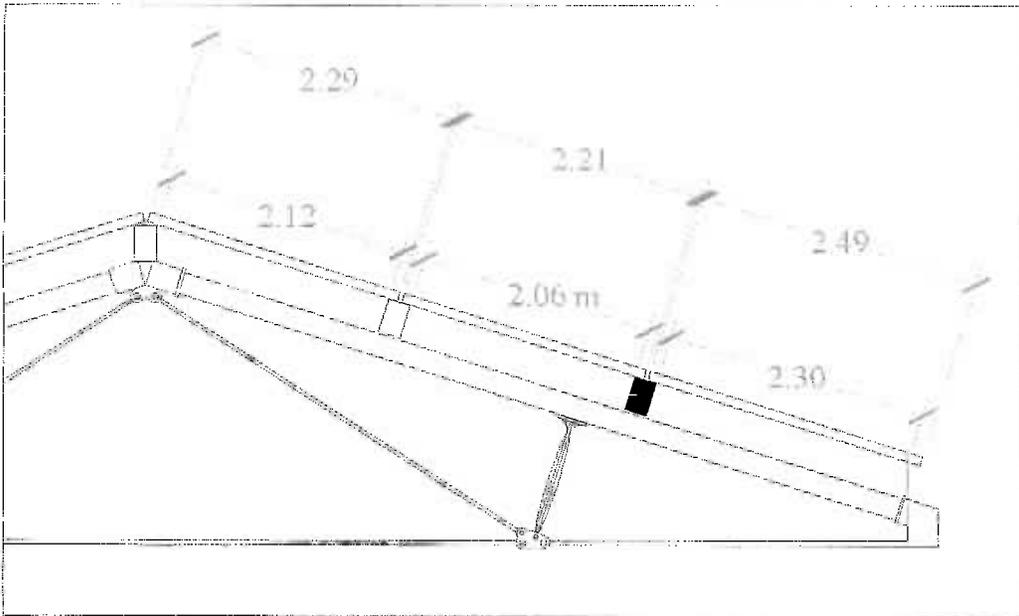
$$\tau_{\text{amm}} \cdot m = 12 \cdot 0,125 = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{48,5}{7,5 \cdot 7,5} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \tau_{\text{amm}} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Lo sforzo di taglio che agisce agli appoggi del travicello è inferiore alla sua tensione ammissibile, quindi il **travicello** risulta essere **verificato**.

## Verifica terza o arcareccio:



### Analisi dei carichi:

$q_s$ :

- Carico neve:  $80 \text{ kg/m}^2$

$g$ :

- Marsigliesi:  $60 \text{ kg/m}^2$
- Pianelle:  $30 \text{ kg/m}^2$
- Peso travicelli al ml:  $(0,075 \times 0,075 \times 600) = 3,375 \text{ kg/m}$
- Peso terza al ml:  $(0,28 \times 0,21 \times 620) = 36,45 \text{ kg/m}$

Peso specifico abete:  $600 \text{ kg/m}^3$

Peso specifico pitch pine:  $620 \text{ kg/m}^3$

Interasse terza 2,27 m

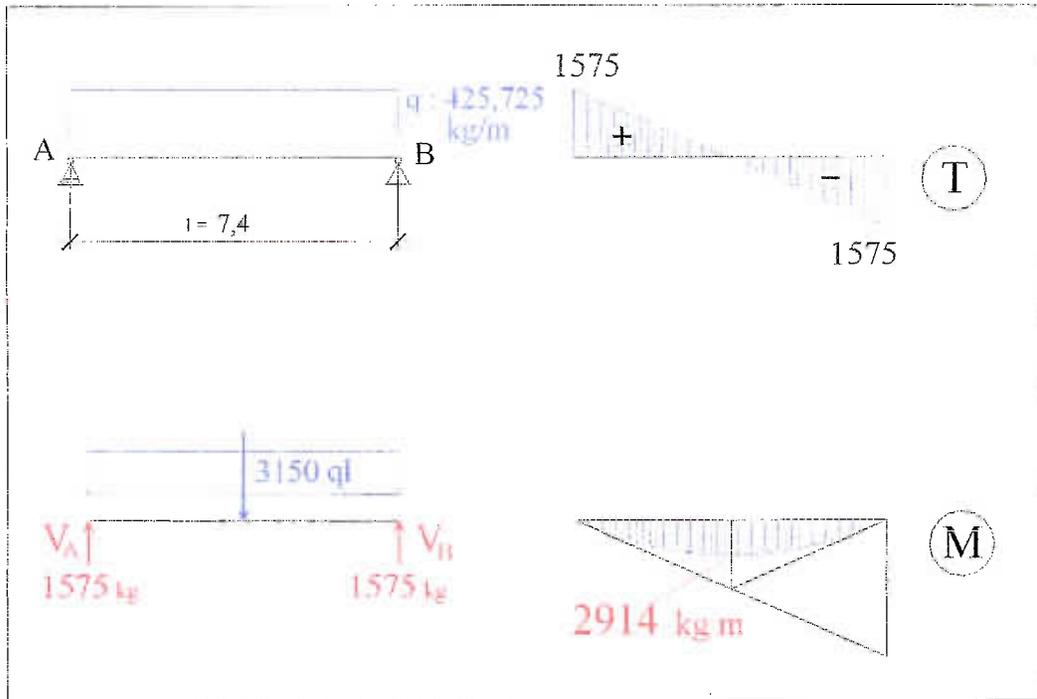
Trasformo il valori in mq in ml:

$$(80 \times 2,27) = 181,6 \text{ kg/m}$$

$$[(60+30) \times 2,27] = 204,3 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{tot}} = p + g = 181,6 + (204,3 + 3,375 + 36,45) = 425,725 \text{ kg/m}$$

## Schema strutturale e diagrammi:



### Reazioni:

$$V_A = V_B = \frac{ql}{2} = \frac{425,725 \times 7,4}{2} = 1575 \text{ kg}$$

### Sforzo normale:

$$N = 0$$

### Taglio:

$$T_A = +1575 \text{ kg}$$

$$T_B = -1575 \text{ kg}$$

### Momento:

$$M_A = M_B = 0$$

$$M_{\frac{l}{2}} = M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{425,725 \times 7,4^2}{8} = 2914 \text{ kg m}$$

$$M_{\max} = 2914 \text{ kg m}$$

## Caratteristiche del legno:

**Pitch pine**: E' la specie legnosa con la quale sono realizzati gli arcarecci.

Peso specifico:  $620 \text{ kg/m}^3$ .

## e requisiti:

Legno di 1° categoria, resinoso.

Tensione ammissibile, a flessione,

(grado di sicurezza 3) :  $\sigma_f = 133 \text{ kg/cm}^2$

Considerando una riduzione di elasticità per vetustà del 20%, la tensione ammissibile a flessione diventa:

$(133 - 133/100 \times 20) = (133 - 26,6) = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_f = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

### Verifica della terza a flessione deviata:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} \left( \frac{\cos \alpha}{C_h} + \frac{h}{b} + \frac{\sin \alpha}{C_b} \right) \leq \sigma_{\text{amm}}$$

Si procede con la verifica a flessione deviata, perché la sezione della terza è inclinata rispetto alla direzione del carico della copertura.

$$M \frac{1}{2} = \text{Momento massimo} = \frac{ql^2}{8} = 2914 \text{ kg} \cdot \text{m} = 291400 \text{ kg} \cdot \text{cm}.$$

$$W = \text{Modulo di Resistenza (per sezioni rettangolari)} = \\ = \frac{BH^2}{6} = \frac{21 \times 28^2}{6} = 2744 \text{ cm}^3$$

$C_h$  = Coefficiente di riduzione per la flessione.

Per  $h = 26 \text{ cm}$ ,  $C_h = 0,85$ .

$C_b$  = Coefficiente di riduzione per la flessione.

Per  $h = 15 \div 23 \text{ cm}$ ,  $C_b = 0,90$ .

$\cos \alpha = \cos 17,4^\circ = 0,95$ .

$\sin \alpha = \sin 17,4^\circ = 0,29$ .

$$\sigma_{\max} = \frac{291400}{2744} \left| \frac{0,95}{0,85} + \frac{28}{21} \times \frac{0,29}{0,90} \right| = 164,31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 164,31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \geq \sigma_{\text{amm}} = 106,4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Lo sforzo a cui è sottoposta la terza più sollecitata è assai superiore alla sua tensione ammissibile, quindi:

la terza risulta essere non verificata.

Verifica del travicello a taglio:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot h} \leq \tau_{\text{amm}} \cdot m$$

$$T_A = T_B = 1575 \text{ kg}$$

$$\tau_{\text{amm}} = \text{per legno resinoso, I categoria} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$m$  : è in funzione dell'area della sezione

$$A = 18 \times 28 = 504 \text{ cm}^2$$

Per  $A > 100$

$$m = 1$$

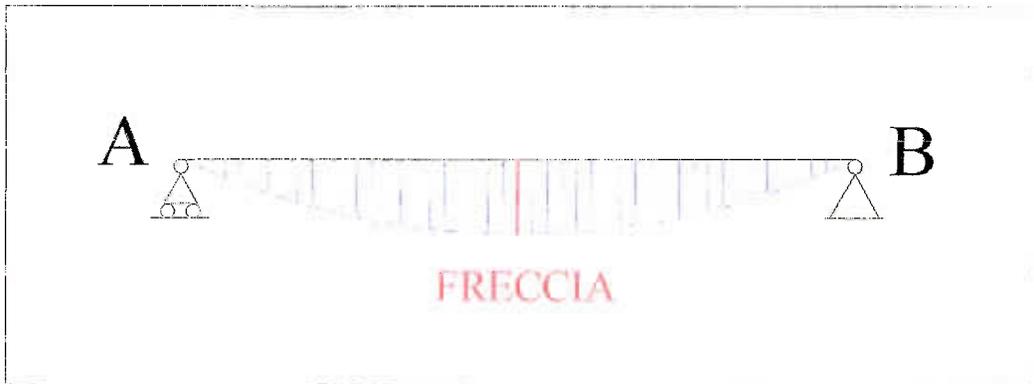
$$\tau_{\text{amm}} \cdot m = 12 \cdot 1 = 12 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1575}{504} = 3,125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = 3,125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \tau_{\text{amm}} = 15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Lo sforzo di taglio che agisce agli appoggi della terza è inferiore alla sua tensione ammissibile, quindi la **terza** risulta essere **verificata**.

## Verifica della deformabilità della terza:



$$f = \text{freccia} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}$$

Calcolo la tensione,  $\sigma_f$ , considerando solo  $g$ , i carichi permanenti:

$g$ :

- Marsigliesi:  $60 \text{ kg/m}^2$
- Pianelle:  $30 \text{ kg/m}^2$
- Peso travicelli al ml:  $(0,075 \times 0,075 \times 600) = 3,375 \text{ kg/m}$
- Peso terza al ml:  $(0,28 \times 0,21 \times 620) = 36,45 \text{ kg/m}$

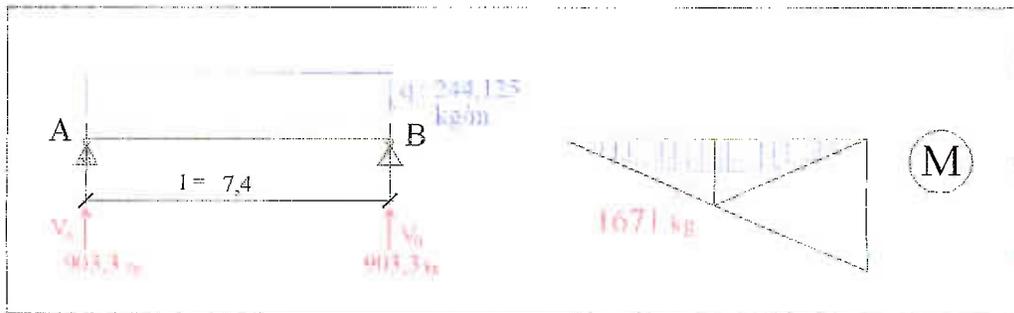
Interasse terza  $2,27 \text{ m}$

Trasformo il valori in mq in ml:

$$[(60+30) \times 2,27] = 204,3 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{tot}} = g = (204,3 + 3,375 + 36,45) = 244,125 \text{ kg/m}$$

Schema strutturale e diagramma:



$$M_{\frac{l}{2}} = \text{Momento massimo} = \frac{ql^2}{8} = 1671 \text{ kg} \cdot \text{m} = 167100 \text{ kg} \cdot \text{cm}.$$

$$W = \text{Modulo di Resistenza (per sezioni rettangolari)} = \\ = \frac{BH^2}{6} = \frac{21 \times 28^2}{6} = 2744 \text{ cm}^3$$

$C$  = Coefficiente di riduzione per la flessione.

$$\text{Per } h = 26 \text{ cm, } C = 0,85.$$

$$\bar{\sigma}_f = \frac{167100}{0,85 \times 2744} = 71,64 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_f$  = Tensione provocata dai soli carichi permanenti.

Calcolo la variazione del valore di  $E_F$  nel tempo ( $E_{F_w}$ ):

$E_F$  = modulo di elasticità a flessione.

$$E_F = 9090 \sqrt{\sigma_f}$$

$\sigma_{amm}$  = tensione ammissibile.

Per legno resinoso di I categoria =  $133 \text{ kg/cm}^2$

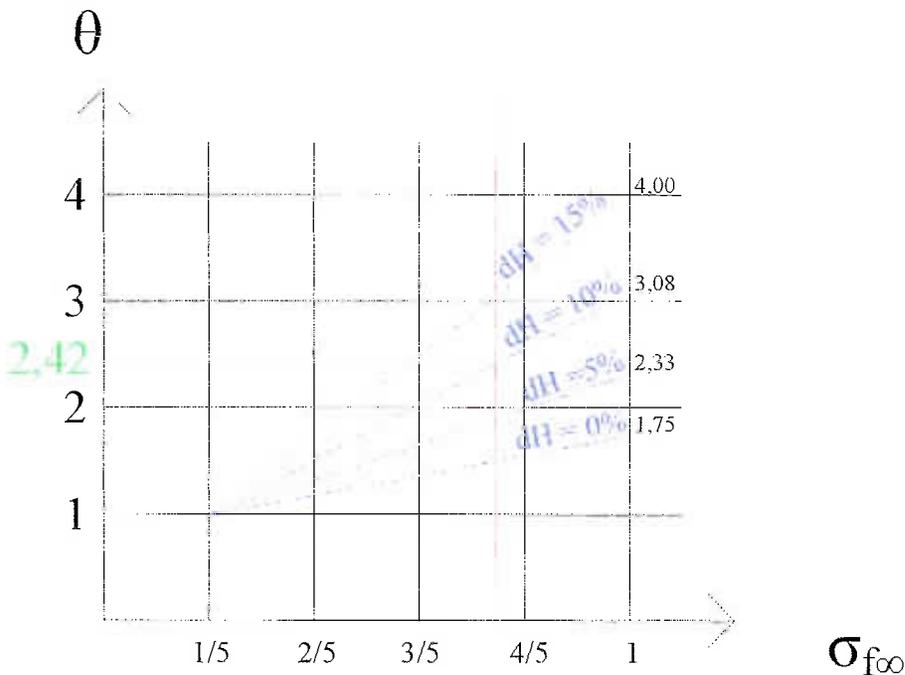
$$E_F = 9090 \sqrt{133} = 104830,99 \text{ kg/cm}^2$$

$E_{F_w}$  = Indica il valore del modulo di elasticità flessionale del legno che subisce una riduzione di elasticità per vetustà.

$$E_{F_w} = \frac{E_F}{\theta}$$

$\theta$  = Il parametro  $\theta$  è funzione della percentuale di umidità e della tensione di esercizio  $\sigma_f$  (calcolata con i soli carichi permanenti).

Grafico per il calcolo del parametro  $\theta$ :



$$\theta = 2,42$$

$$E_{F_w} = \frac{E_F}{\theta} = \frac{104831}{2,42} = 43318,59 \text{ kg/cm}^2$$

## Calcolo la freccia:



$$f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} \text{ cm}$$

$q$  = Il carico distribuito con cui si calcola la freccia è quello comprensivo anche del sovraccarico d'esercizio =  $4,25 \text{ kg/cm}$

$l = l_0$  = Luce libera d'inflessione, in questo caso è rappresentata dalla effettiva lunghezza effettiva della terza =  $740 \text{ cm}$

$E = E_{F_{co}}$  = Modulo elastico che tiene conto della riduzione di elasticità per vetustà =  $43318,59 \text{ kg/cm}^2$

$I$  = Momento d'inerzia (per sezioni rettangolari) =  $\frac{BH^3}{12} = \frac{21 \times 28^3}{12} = 38416 \text{ cm}^4$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,25 \times 740^4}{43318,59 \times 38416} = 9,97 \text{ cm}$$

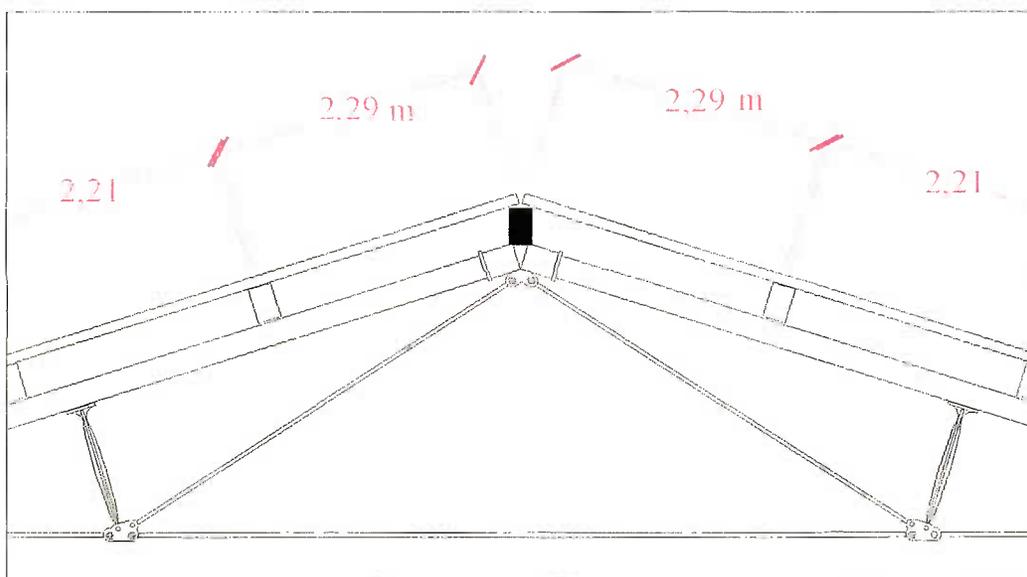
La freccia deve essere  $f \leq \frac{l}{200}$  per le strutture che portano direttamente gli elementi di copertura. In questo caso:

$$f_{\text{amm}} \leq \frac{740}{200} = 3,6 \text{ cm}$$

$$f_{\max} = 10 \text{ cm} \geq f_{\text{amm}} = 3,6 \text{ cm}$$

La freccia generata dai carichi supera il limite di deformabilità della terza.

## Verifica trave di colmo:



### Analisi dei carichi:

$q_s$ :

- Carico neve:  $80 \text{ kg/m}^2$

$g$ :

- Marsigliesi:  $60 \text{ kg/m}^2$
- Pianelle:  $30 \text{ kg/m}^2$
- Peso travicelli al ml:  $(0,075 \times 0,075 \times 600) = 3,375 \text{ kg/m}$
- Peso terza al ml:  $(0,28 \times 0,21 \times 620) = 36,45 \text{ kg/m}$

Peso specifico abete:  $600 \text{ kg/m}^3$

Peso specifico pitch pine:  $620 \text{ kg/m}^3$

Interasse trave di colmo 2,29 m

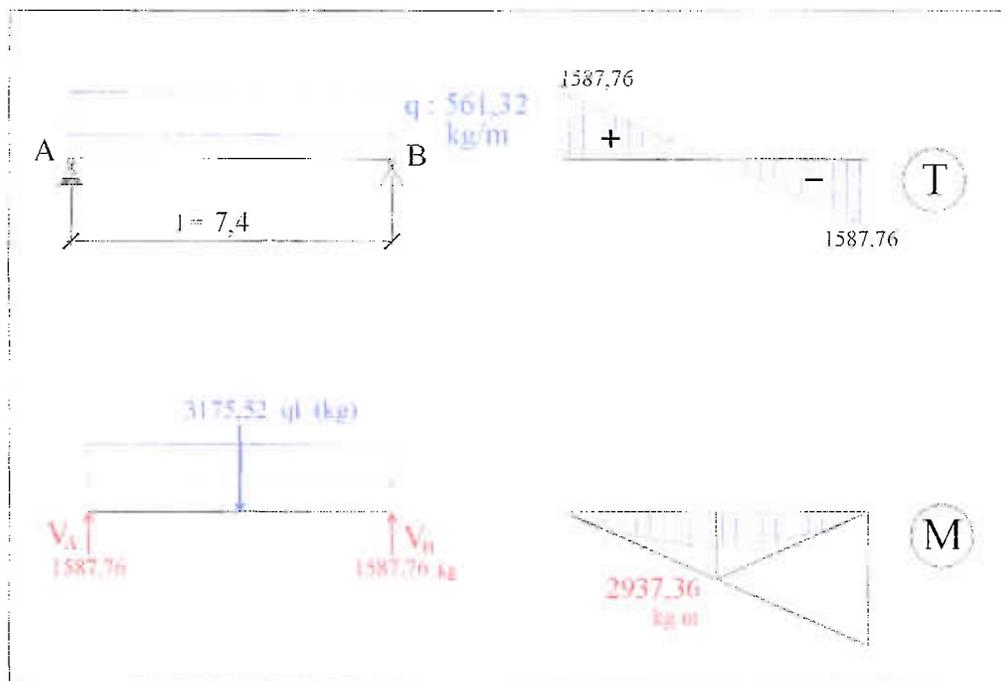
Trasformo il valori in mq in ml:

$$(80 \times 2,29) = 183,2 \text{ kg/m}$$

$$[(60+30) \times 2,29] = 206,1 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{tot}} = p + g = 183,2 + (206,1 + 3,375 + 36,45) = 429,125 \text{ kg/m}$$

## Schema strutturale e diagrammi:



### Reazioni:

$$V_A = V_B = \frac{ql}{2} = \frac{429,125 \times 7,4}{2} = 1587,76 \text{ kg}$$

### Sforzo normale:

$$N = 0$$

### Taglio:

$$T_A = + 1587,76 \text{ kg}$$

$$T_B = - 1587,76 \text{ kg}$$

### Momento:

$$M_A = M_B = 0$$

$$M_{\frac{1}{2}} = M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{429,125 \times 7,4^2}{8} = 2937,36 \text{ kg m}$$

$$M_{\max} = 2937,36 \text{ kg m}$$

## Caratteristiche del legno:

**Pitch pine**: E' la specie legnosa con la quale sono realizzati gli arcarecci.

Peso specifico:  $620 \text{ kg/m}^3$ .

## e requisiti:

Legno di 1° categoria, resinoso.

Tensione ammissibile, a flessione,

(grado di sicurezza 3) :  $\sigma_f = 133 \text{ kg/cm}^2$

Considerando una riduzione di elasticità per vetustà del 20%, la tensione ammissibile a flessione diventa:

$(133 - 133/100 \times 20) = (133 - 26,6) = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_f = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

### Verifica della trave di colmo a flessione semplice:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_C} \leq \sigma_{\text{amm}}$$

Si procede con la verifica a flessione semplice, perché la sezione della trave di colmo è ortogonale rispetto alla direzione del carico della copertura.

$$M_{\frac{1}{2}} = \text{Momento massimo} = \frac{ql^2}{8} = 2937,36 \text{ kg} \cdot \text{m} = 293736 \text{ kg} \cdot \text{cm}.$$

$W$  = Modulo di Resistenza (per sezioni rettangolari) =

$$= \frac{BH^2}{6} = \frac{21 \times 28^2}{6} = 2744 \text{ cm}^3$$

$C$  = Coefficiente di riduzione per la flessione.

Per  $h = 28 \text{ cm}$ ,  $C = 0,85$ .

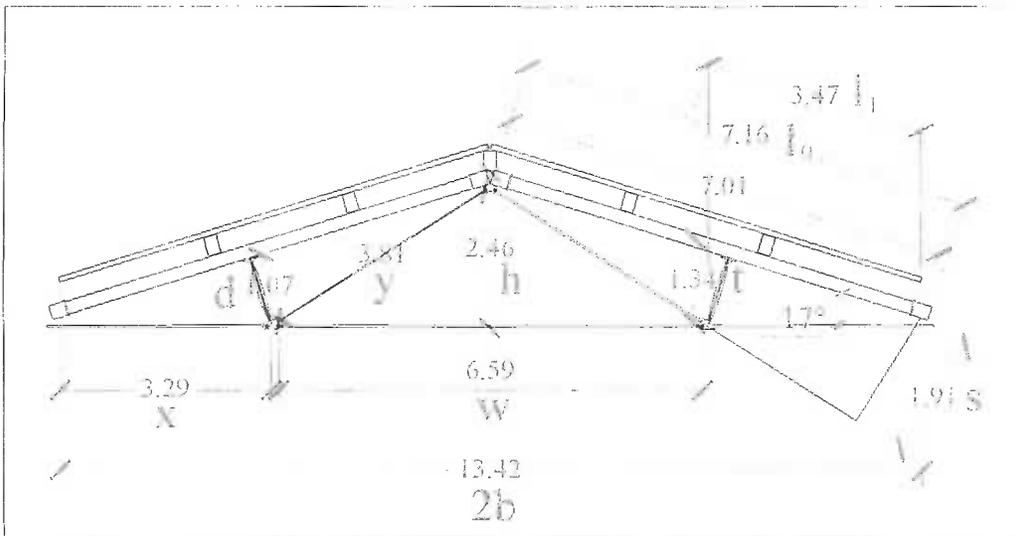
$$\sigma_{\max} = \frac{293736}{2744 \times 0,85} = 125,93 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 126 \text{ kg/cm}^2 \geq \sigma_{\text{amm}} = 106 \text{ kg/cm}^2$$

Lo sforzo a cui è sottoposta la trave di colmo è maggiore dello sforzo ammissibile, quindi:

la trave di colmo risulta essere non verificata.

## Verifica dell'Incavallatura Polonceau:



### Analisi dei carichi:

$q_s$ :

- Carico neve:  $80 \text{ kg/m}^2$

$g$ :

- Marsigliesi:  $60 \text{ kg/m}^2$
- Pianelle:  $40 \text{ kg/m}^2$
- Peso travicelli al ml:  $(0,075 \times 0,075 \times 600) = 3,375 \text{ kg/m}$
- Peso terza al ml:  $(0,28 \times 0,18 \times 620) = 36,45 \text{ kg/m}$
- Peso puntone:  $(0,31 \times 0,31 \times 620) = 59,58 \text{ kg/m}$

Peso specifico abete:  $600 \text{ kg/m}^3$

Peso specifico pitch pine:  $620 \text{ kg/m}^3$

$l_0$  = luce libera d'inflexione del puntone = 7,16 m

Interasse puntone 7,2 m

Trasformo il valori in mq in ml:

$$(80 \times 7,2) = 576 \text{ kg/m}$$

$$[(60+30) \times 7,2] = 648 \text{ kg/m}$$

$$q = 576 + (648 + 3,375 + 36,45 + 60) = 1323,825 \text{ kg/m}$$

$$Q_1 = 1323,825 \times 7,16 = 9478,58 \text{ kg}$$

Elementi metallici della capriata:

Peso specifico acciaio:  $7850 \text{ kg/m}^3$

Peso specifico ghisa:  $7250 \text{ kg/m}^3$

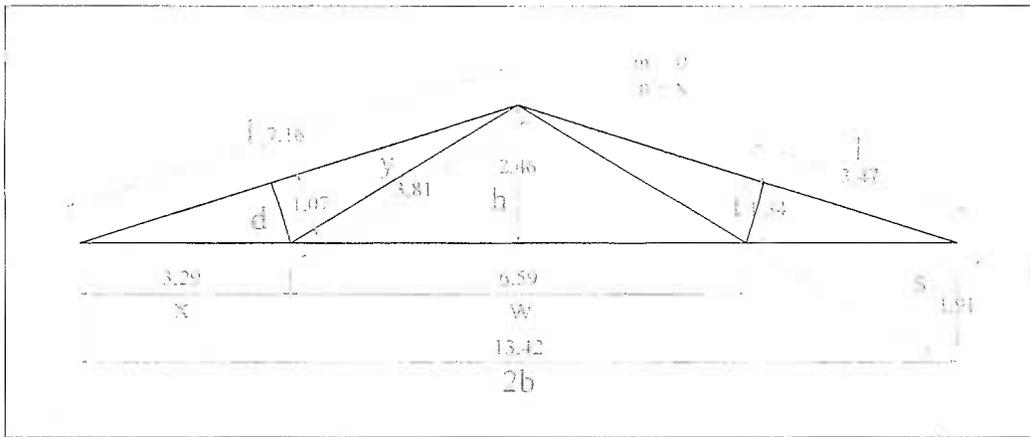
Peso specifico assunto (una media fra i due valori):  $7550 \text{ kg/m}^3$

- Peso tirante x:  $(0,015^2 \times \pi \times 3,29 \times 7550) = 17,55 \text{ kg}$
- Peso tirante y:  $(0,015^2 \times \pi \times 3,81 \times 7550) = 20,33 \text{ kg}$
- Peso metà catena w:  $(0,015^2 \times \pi \times 3,29 \times 7550) = 17,58 \text{ kg}$
- Peso contraffisso d:  $(0,1 \times 0,008 \times 2 \times 1,07 \times 7550) = 12,92 \approx 13 \text{ kg}$

$$Q_2 = (17,55 + 20,33 + 17,58 + 13) = 68,46 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{tot}} = 9478,58 + 68,5 = \mathbf{9547 \text{ kg}}$$

Calcolo gli sforzi nei singoli pezzi con le formule del Colombo:



- X = Trazione nel tirante x.

$$X = \frac{0,81 \times Q \times x}{t}$$

$$X = \frac{0,81 \times 9560 \times 3,29}{1,34} = 18986,5 \text{ kg}$$

$$X = 18986,5 \text{ kg}$$

- Y = Trazione nel tirante y.

$$Y = 0,0625 \times Q \times \frac{13 \text{ m} \times 10 \text{ n}}{s}$$

$$m = 0 \quad n = x$$

$$Y = 0,0625 \times 9547 \times \frac{10 \times 3,29}{1,91} = 10278 \text{ kg}$$

$$Y = 10278 \text{ kg}$$

- W = Trazione nella catena w.

$$W = 0,5 \frac{Q \times b}{h}$$

$$W = 0,5 \frac{9547 \times 6,71}{2,46} = 13020,40 \text{ kg}$$

$$W = 13020,40 \text{ kg}$$

- D = Compressione nel contraffisso d.

$$D = 0,625 \frac{Q \times b}{l}$$

$$D = 0,625 \frac{9547 \times 6,71}{7,16} = 5591,86 \text{ kg}$$

$$D = 5591,86 \text{ kg}$$

- H = 0. In questo caso non è presente tirante in sospensione (monaco).

- L = Compressione sul puntone l.

$$L = X \times \frac{l_1}{x}$$

$$L = 18986,5 \times \frac{3,47}{3,29} = 20025,27 \text{ kg}$$

$$L = 20025,27 \text{ kg}$$

- M<sub>max</sub> = Momento massimo.

$$M_{\max} = 0,03125 \times Q \times b$$

$$M_{\max} = 0,03125 \times 9547 \times 6,71 = 2001,88 \text{ kg m}$$

$$M_{\max} = 2001,88 \text{ kg cm}$$

## Verifica degli elementi metallici:

Verifico se le loro sezioni sono in grado di sopportare le tensioni a cui sono sottoposti.

- Tirante x, soggetto a trazione:

$$\text{Area sezione: } 15^2 \times \pi = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{18986,5}{706,85} = 26,86 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 26,86 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} > \sigma_{\text{amm}} = 16 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Il tirante x risulta essere non verificato.

- Tirante y, soggetto a trazione:

$$\text{Area sezione: } 15^2 \times \pi = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{10278}{706,85} = 14,54 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 14,54 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} < \sigma_{\text{amm}} = 16 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Il tirante y risulta essere verificato.

- Catena w, soggetta a trazione:

$$\text{Area sezione: } 15^2 \times \pi = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{13020,40}{706,85} = 18,42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 18,42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} > \sigma_{\text{amm}} = 16 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

La catena w risulta essere non verificata.

- Contraffisso d, soggetto a compressione:

Area sezione:  $(100 \times 8) \times 2 = 1600 \text{ mm}^2$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{5591,86}{1600} = 3,5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 3,5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} < \sigma_{\text{amm}} = 16 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Il contraffisso d risulta essere verificato.

### Verifica del puntone in legno:

- Puntone l, soggetto a presso flessione:

L = Carico a cui è sottoposto il puntone l = 20025,27 kg

A = Area della sezione del puntone =  $31 \times 31 = 961 \text{ cm}^2$

M = Momento flettente = 200188 kg · cm

$$W = \text{Modulo di resistenza} = \frac{B^3}{6} = \frac{31^3}{6} = 4965,16 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{L}{A} + \frac{M}{W} = \frac{20025,27}{961} + \frac{200188}{4965,16} = 61,15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 61,15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \sigma_{\text{amm}} = 106,4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Il puntone risulta essere verificato.

## Conclusioni verifiche:

I travicelli, nonostante presentino una lunghezza eccessiva in proporzione alla loro sezione (7,5 x 7,5 x 230 mentre per sezioni di 8 x 8 di solito la lunghezza non supera 170 cm), risultano essere abbondantemente verificati alla tensione di presso flessione cui sono sottoposti.

Partendo dalla constatazione del fenomeno di rottura dei travicelli in corrispondenza del loro appoggio sulla muratura, si è inoltre eseguita la verifica a taglio alle estremità, dove appunto il taglio è massimo, ma anche questa è risultata positiva, prova ulteriore che la rottura dei travicelli è conseguenza della loro marciscenza e non della tensione di taglio esercitata dai carichi che sopporta.

Le terzere sono gli elementi che presentano maggiori problematiche, per questo sono quelle su cui si è concentrato l'intervento di consolidamento. Sebbene si sia concluso che le fessurazioni longitudinali presenti sono con probabilità conseguenti al ritiro del legno (cioè le variazioni della percentuale di umidità hanno provocato variazioni dimensionali delle terzere, e di conseguenza deformazioni e fessurazioni nel legno), tuttavia esse dipendono anche da un eccesso di sforzi flessionali. Questa seconda ipotesi è avvalorata dalle verifiche che rivelano come le terzere risultino essere sottodimensionate rispetto alle tensioni cui sono sottoposte.

In realtà il fatto anomalo non è tanto la dimensione della sezione delle terzere (18 x 28 cm) quanto quella delle campate (lo spazio tra una capriata e l'altra) che risulta essere in media di 700 cm.

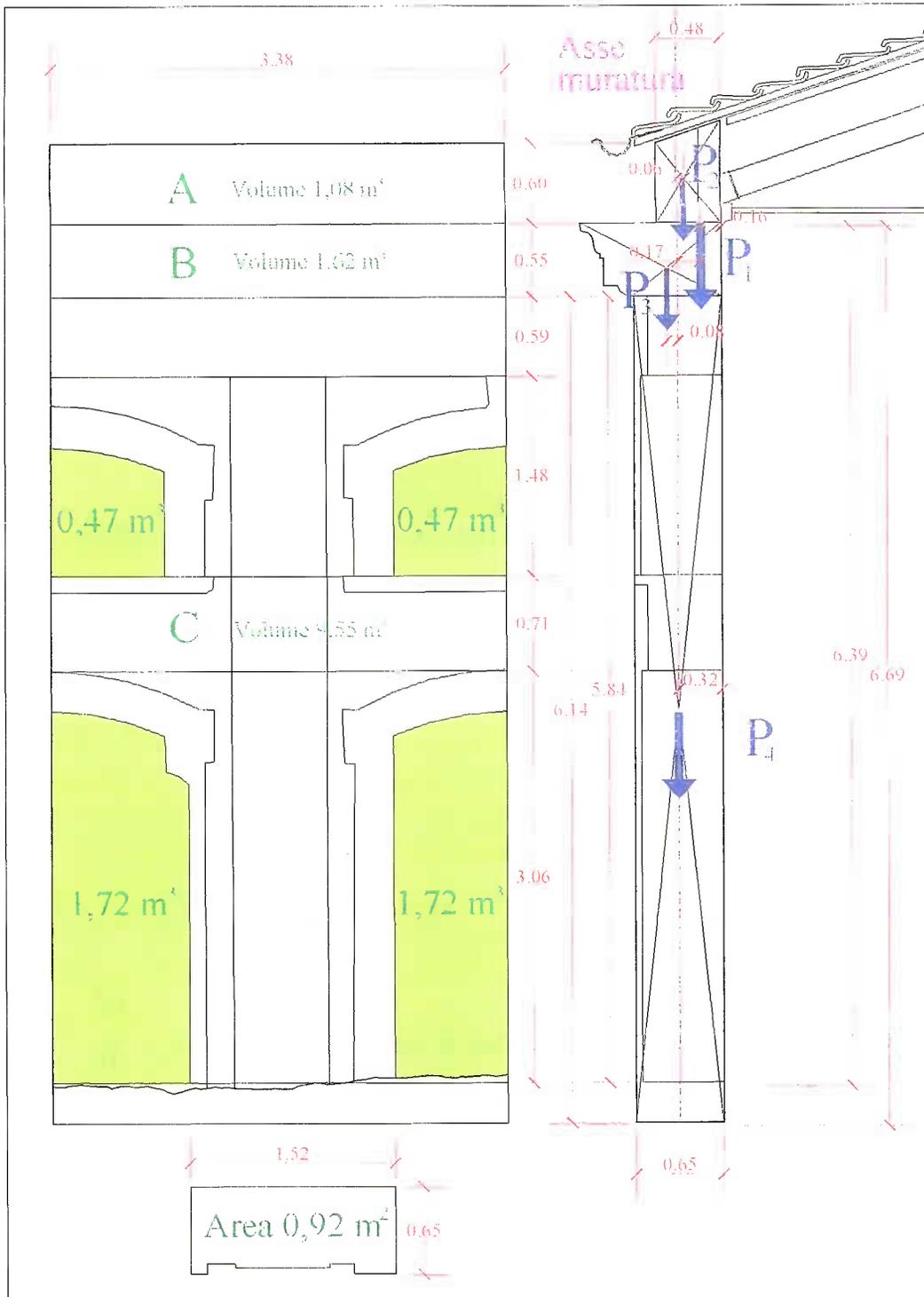
Anche la verifica della deformabilità sulle terzere ha rilevato il loro insufficiente dimensionamento.

Per le verifiche dell'incavallatura Polonceau è stato utilizzato il Metodo di Coulomb. Questo procedimento permette di trovare prima gli sforzi nei singoli elementi della capriata (attraverso formule con coefficienti prestabiliti), dopo di che si eseguono le verifiche per ogni componente distintamente.

I tiranti sono stati verificati a trazione, il contraffisso a compressione, mentre il puntone a presso flessione. Tutti gli elementi risultano essere verificati, fatta eccezione dei tiranti che compongono la catena che sono leggermente sottodimensionati e per i quali si è considerata una bassa tensione ammissibile.

Le verifiche sulla capriata hanno nel complesso confermato le conclusioni tratte dall'analisi del loro aspetto, per cui risulta che siano in un buono stato di conservazione e non necessitino di particolari interventi di ripristino e consolidamento.

# Verifica statica della muratura:



Calcolo dei volumi:

$$\mathbf{A} = 1,08 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{B} = 1,62 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{C} = 9,55 \text{ m}^3 = \text{al netto delle aperture.}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{C} &= \text{Volume calcolato al netto delle aperture} = \\ &= (3,38 \times 4) - [(0,47 \times 2) + 1,72 + 1,31] = 9,55 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Calcolo dei carichi:

$$\text{Materiale n}^\circ 19: \mathbf{\underline{Muratura in pietrame misto}} = 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$\mathbf{P}_1 = 9550 \text{ kg}$  = Peso trasmesso dalla copertura, quello che insiste su un puntone.

$$\mathbf{P}_2 = 1,08 \times 2200 = \mathbf{2376 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{P}_3 = 1,62 \times 2200 = \mathbf{3564 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{P}_4 = 9,55 \times 2200 = \mathbf{21010 \text{ kg}}$$

Calcolo delle eccentricità:

$$e_s = \frac{\overline{M}}{R} \quad \text{Eccentricità dovuta al carico della copertura, trasmesso in posizione non baricentrica rispetto all'asse della muratura.}$$

$$e_a = \frac{h}{200} \quad \text{Eccentricità dovuta a tolleranze di esecuzione.}$$

$$e_v = \frac{M_v}{N} \quad \text{Eccentricità provocata dall'azione del vento.}$$

Eccentricità  $e_s$ :

$$R = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$R = 9550 + 2376 + 3564 + 21010 = \mathbf{36500 \text{ kg}}$$

$$M = P_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot d_2 + P_3 \cdot d_3$$

$$M_1 = 9550 \times (-16) = -152800 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_2 = 2376 \times (-6) = -14256 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_3 = 3564 \times 8 = 28512 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = -152800 - 14256 + 28512 = -\mathbf{138544 \text{ kg} \cdot \text{cm}}$$

$$e_s = \frac{\overline{M}}{R} = \frac{-138544}{36500} = -3,79 \text{ cm}$$

$$e_s = -3,8 \text{ cm}$$

Eccentricità  $e_a$ :

$h$  = Altezza interna di piano = 6,40 m = 640 cm.

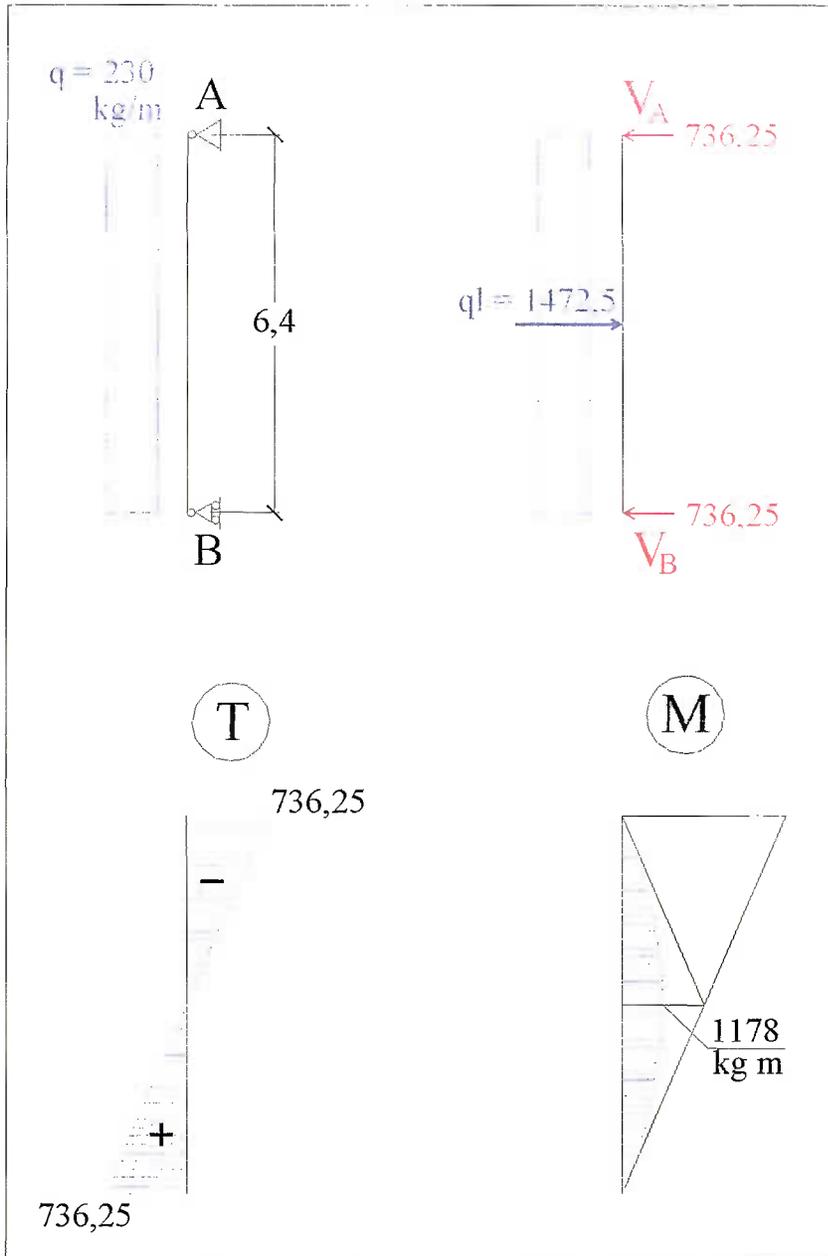
Considero  $h$  la distanza tra la linea di terra e il punto di appoggio della capriata, cioè i punti in cui, nello schema strutturale, sono posizionati i vincoli.

$$e_a = \frac{h}{200} = \frac{640}{200} = 3,2 \text{ cm}$$

$$e_a = 3,2 \text{ cm}$$

## Eccentricità $e_y$ :

Schema strutturale della muratura e relativi diagrammi:



Nella zona di Massa Carrara, la pressione del vento si considera essere approssimativamente pari a: **95 kg/m<sup>2</sup>**.

Poiché la superficie, rispetto alla quale si vuole calcolare la spinta del vento, presenta delle aperture, si cerca la superficie al netto delle aperture.

$$S_N = 6,4 \times 3,38 - 0,73 \times 2 + 2,65 + 2,02 = \mathbf{15,50 \text{ m}^3}$$

$$Q_v = \text{Carico vento} = 95 \times 15,50 = \mathbf{1472,50 \text{ kg}}$$

$$M_{\frac{1}{2}} = \text{Momento massimo} = \frac{ql^2}{8} = \frac{230 \times 6,4^2}{8} = 1178 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$= 117800 \text{ kg} \cdot \text{cm}.$$

$$e_v = \frac{M_{v\max}}{\Sigma N} \rightarrow \text{Tutti i carichi sopra la mezzeria.}$$

L'eccentricità prodotta dal vento,  $e_v$ , la si calcola dove il momento è massimo. Il momento è massimo in mezzeria,  $M_{v\max} = \frac{h}{2}$ .

$$\frac{h}{2} = \frac{6,4}{2} = 3,2 \text{ m} = 320 \text{ cm}$$

Allora il carico  $P_4$  lo devo ricalcolare trovando un nuovo  $P_5$  che prende in considerazione solo il carico sopra la mezzeria:

$$\text{Volume } \frac{C}{2} = 3,2 \times 3,38 \times 0,65 - 0,73 \times 2 = 5,57 \text{ m}^3$$

$$P_5 = 5,57 \times 220 = \mathbf{12254 \text{ kg}}$$

$$\Sigma N = 12370 + 2376 + 3564 + 12254 = \mathbf{30564 \text{ kg}}$$

$$e_v = \frac{M_{v\max}}{\Sigma N} = \frac{117800}{30564} = 3,85 \text{ cm}$$

$$e_v = \mathbf{3,85 \text{ cm}}$$

A questo punto si combinano l'eccentricità  $e_s$ ;  $e_a$ ;  $e_v$  per trovare i valori di  $e_1$  ed  $e_2$ :

$$e_1 = |e_s| + |e_a| = |-3,8| + |3,2| = 7 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v| = \frac{7}{2} + |3,85| = 7,35 \text{ cm}$$

$$e_1 = 7 \text{ cm}$$

$$e_2 = 7,35 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{e_1}{t} \\ \frac{e_2}{t} \end{array} \right\} \leq 0,33$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{7}{65} = 0,10 \\ \frac{7,35}{65} = 0,11 \end{array} \right\} \leq 0,33$$

## Calcolo i coefficienti di riduzione della sezione resistente:

La  $\Phi$  presente nella formula della verifica a compressione  $\sigma = \frac{N}{\Phi \cdot A}$

È un coefficiente di riduzione della sezione di muratura in cui si compie la verifica, che dipende da altri due fattori:

$$\lambda = \frac{h_0}{t} = \text{Snellezza della muratura.}$$

$$m = \frac{6 e_t}{t} = \text{Coefficiente di eccentricità.}$$

$h_0$  = Lunghezza libera d'inflexione =  $h \times \rho$ .

$h$  = Altezza interna di piano = 640 cm

$\rho$  = Fattore laterale di vincolo = 1.

$h_0$  = Lunghezza libera d'inflexione =  $640 \times 1 = 640$  cm.

$t$  = Spessore della parete = 65 cm.

$$\lambda = \frac{h_0}{t} = \frac{640}{65} = \mathbf{9,8} \text{ cm}$$

$e_t$  = Eccentricità trasversale massima.

In questo caso il punto più sollecitato è il piede della muratura, allora considero  $e_t = 7$  cm, che vale per la verifica dei muri nelle loro sezioni di estremità.

$$m = \frac{6 e_t}{t} = \frac{6 \times 7}{65} = \mathbf{0,64}$$

Snellezza $\lambda = \frac{h_0}{t}$	Coefficiente di Eccentricità $m = \frac{6 e_t}{t}$				
	0	0,5	1,0	1,5	2
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,15
15	0,69	0,48	0,32	0,17	-
20	0,53	0,36	0,23	-	-

Interpolazione lineare:

$$\Phi = \frac{0,61 - 0,45}{10} = 0,016$$

$$0,61 - 3(0,016) = 0,56$$

$$\Phi = \mathbf{0,56.}$$

### Verifica della muratura a compressione:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{\Phi A} \leq \sigma_{\text{amm}}$$

$$N = R = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 9550 + 2376 + 3564 + 21010 = \mathbf{36500 \text{ kg}}$$

$A$  = Area della sezione resistente alla base del muro al netto delle aperture =  $0,92 \text{ m}^2 = \mathbf{9200 \text{ cm}^2}$ .

$$\Phi = \mathbf{0,56}.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{36500}{0,56 \cdot 9200} = 7,08 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Calcolo della tensione ammissibile:

$f_{\text{bk}}$  = Resistenza caratteristica a compressione

$f_{\text{bk}} = 200 \text{ kg/cm}^2$  = Resistenza caratteristica a compressione di elementi naturali in pietra.

$f_{\text{bk}} = 25 \text{ kg/cm}^2$  = Resistenza caratteristica a compressione della malta di tipo M<sub>4</sub>.

$$f_k = 200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + M_4 = \mathbf{61 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$f_{\text{vk}}$  = Resistenza caratteristica a taglio

$$f_k > 30 + M_4 = f_{\text{vk}} \mathbf{1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\sigma_{\text{amm}} = \frac{f_k}{5} = \frac{61}{5} = \mathbf{12,2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\sigma_{\max} = 7,08 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \sigma_{\text{amm}} = \mathbf{12,2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

La muratura risulta essere verificata.

## Verifica sismica:

### Ipotesi sulla rottura.

Rottura a taglio dei maschi murari con fasce rigide.

### Ipotesi sulla struttura.

- Composta da pietrame in muratura mista.
- Pietrame non squadrato:  $f_{bk} = 200 \text{ kg/cm}^2$
- Malta tipo : **M<sub>4</sub>**.
- $f_k = 61 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{vk} = 1 \text{ kg/cm}^2$
- Peso specifico di muratura composta da pietrame e malta =  $2200 \text{ kg/m}^3$
- **E** = Modulo di elasticità normale =  $1000 f_k = 61000 \text{ kg/cm}^2$
- **G** = Modulo di elasticità tangenziale =  $0,4 E = 24400 \text{ kg/cm}^2$
- **t** = Spessore muratura = 65 cm.
- **μ** = Duttilità (per murature esistenti) = 1,5
- Adibito a: Centro espositivo = Sede della Biennale di scultura.
- **s** = Grado di sismicità = 0,50.
- **I** = Coefficiente di protezione sismica = 1,2.
- Luce facciata = 36,6 m
- Altezza sottogronda = 7 m.
- Altezza al colmo = 10 m

### Ipotesi sulla posizione:

- Zona di seconda categoria = **S = 9**.
- Sovraccarichi sulla copertura = **120 kg/m<sup>2</sup>**
- Terreno di fondazione con caratteristiche usuali = **ε = 1**.
- Peso copertura = **135 kg/m<sup>2</sup>**

### Ipotesi di carico:

- **Peso copertura**, metà falda = **34342 kg**
- **Peso parete**, al netto delle aperture = **274560 kg**
- **Carico accidentale**, su metà falda = **31200 kg**

## Verifica sismica della parete longitudinale lato sud:

$$\text{Forza Sismica} = \mathbf{F_s} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{K_h}$$

$\mathbf{W} = \mathbf{G} + \mathbf{s} \cdot \mathbf{Q}$  = Peso di tutti i maschi murari.

$\mathbf{G}$  = Peso della parete + peso della copertura = 34342+274560 = 308902 kg.

$\mathbf{s}$  = Grado di sismicità = 0,5.

$\mathbf{Q}$  = Carico accidentale gravante su metà falda = 15600 kg.

$\mathbf{W} = \mathbf{G} + \mathbf{s} \cdot \mathbf{Q} = 308902 + 0,5 \times 15600 = \mathbf{324502}$  kg.

$\mathbf{K_h} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{\beta} \cdot \mathbf{\varepsilon} \cdot \mathbf{I}$  = Coefficiente sismico, attraverso il quale la forza verticale viene trasformata in forza orizzontale.

$\mathbf{C}$  = Coefficiente di intensità sismica =  $\frac{s-2}{100} = \frac{9-2}{100} = 0,07$

$\mathbf{R}$  = Coefficiente di risposta = 1

$\mathbf{\beta}$  = Coefficiente di struttura = 4

$\mathbf{\varepsilon}$  = Coefficiente di fondazione = 1

$\mathbf{I}$  = Coefficiente di protezione sismica = 1,2

$\mathbf{K_h} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{\beta} \cdot \mathbf{\varepsilon} \cdot \mathbf{I} = 0,07 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1,2 = \mathbf{0,336}$

$\mathbf{F_s} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{K_h} = 324502 \cdot 0,336 = \mathbf{109033}$  kg

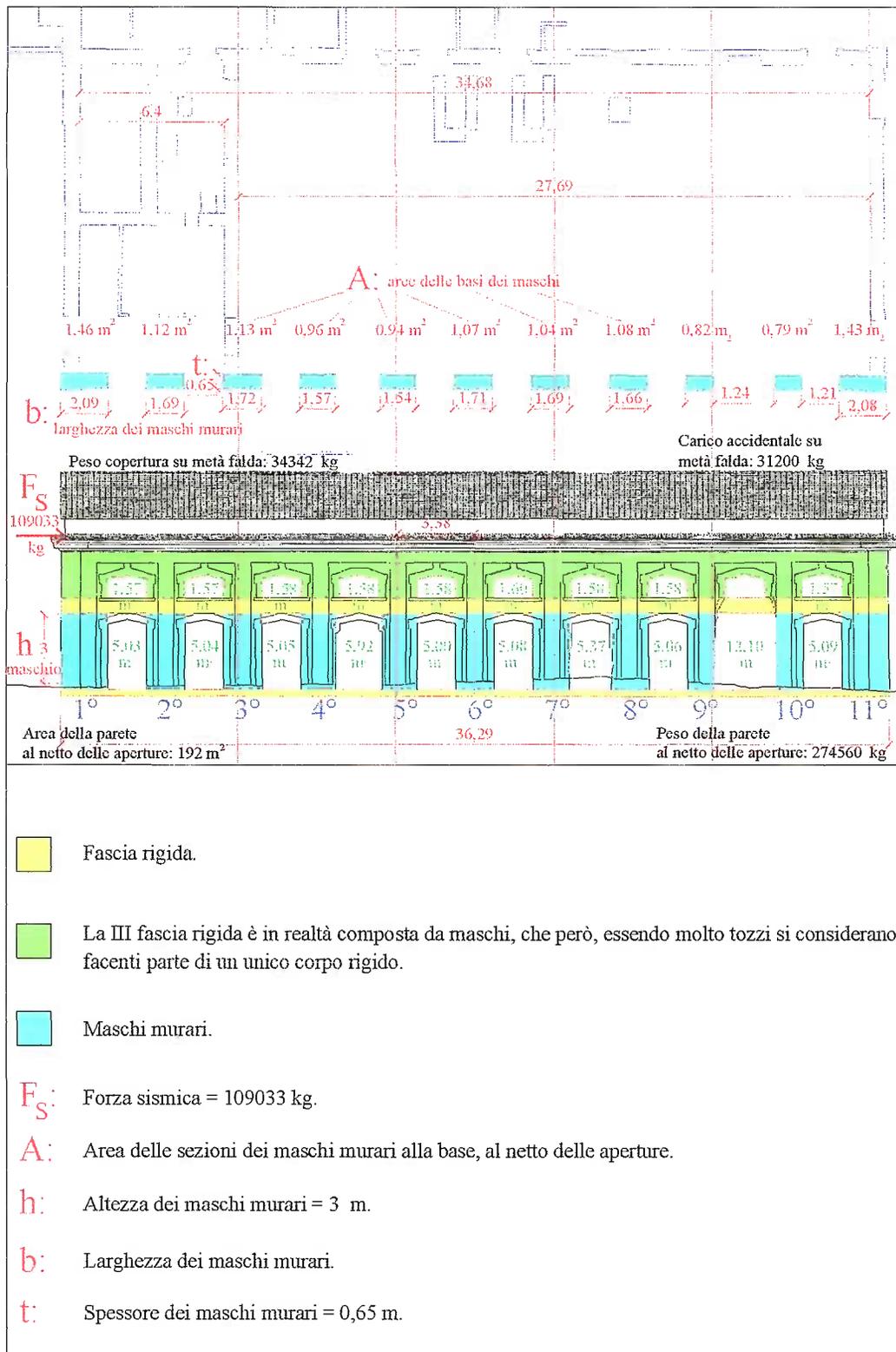
## Ipotesi sul comportamento della struttura:

Si potrebbe ipotizzare la presenza di 3 fasce rigide (la I corrispondente alla fascia di fondazioni o meglio alla fascia di muratura interrata; la II è quella che divide la sequenza dei portali con quella delle finestre; la III immediatamente sopra alle finestre), intervallate da due sequenze di maschi murari, uno scandito dai portali, l'altro dalle finestre.

In realtà si considera solo la sequenza di maschi murari inferiori, perché quelli superiori sono assai tozzi, quindi si formula un'ipotesi di rigidità, che ingloba la seconda fila di maschi tozzi con la III fascia rigida in un unico corpo rigido.

## Ipotesi di rigidezza:

Maschi murari tozzi con tre fasce rigide.



## Dati necessari per i calcoli sui maschi murari:

**A** = Area della sezione di base.

**h** = Altezza di calcolo (altezza del maschio).

**b** = Larghezza del maschio.

$\sigma_0$  = Tensione media a metà maschio =

$$= \frac{\text{Peso copertura}}{\text{Area totale maschi murari}} + \\ + (\text{Altezza metà maschio} \times \text{Peso specifico muratura in pietrame})$$

Peso copertura = 34342 kg

Area totale maschi murari =

$$= 1,46 + 1,12 + 1,13 + 0,96 + 0,94 + 1,07 + 1,04 + 1,08 + 0,82 + 0,79 + 1,43 = \\ 11,84 \text{ m}^2$$

Peso specifico muratura i pietrame misto =  $2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\sigma_0 = \frac{34342}{11,84} + (1,5 \times 2200) = 2900,50 + 3300 = 6200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_0 = 6200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \mathbf{0,62} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{vk} = \mathbf{1} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta = \mathbf{1,5} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**E** = Modulo di elasticità normale =  $1000 f_k = \mathbf{61000} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

**G** = Modulo di elasticità tangenziale =  $0,4 E = \mathbf{24400} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$F_u = A \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$K_t = \frac{G \cdot A}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b^2}}$$

$$\delta_0 = \frac{F_u}{K_t}$$

$$\delta_u = \delta_0 \times \mu$$

**1° MASCHIO:**

$$A_1 = \text{Area della sezione di base} = 1,46 \text{ m}^2 = 14600 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 2,09 \text{ m} = 209 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ul} = A_1 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{ul} = 14600 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 17357,01 \text{ kg}$$

$$F_{ul} = 17357,01 \text{ kg}$$

$$K_{tl} = \frac{G \cdot A_1}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_1^2}}$$

$$K_{tl} = \frac{24400 \cdot 14600}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{209^2}} = 586925 \text{ kg/cm}$$

$$K_{tl} = 586925 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{01} = \frac{F_{ul}}{K_{tl}} = \frac{17357}{586925} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{01} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{ul} = \delta_{01} \times \mu = 0,029 \times 1,5 = 0,044 \text{ cm}$$

$$\delta_{ul} = 0,044 \text{ cm}$$

**1° MASCHIO:**

$$A_1 = \text{Area della sezione di base} = 1,46 \text{ m}^2 = 14600 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 2,09 \text{ m} = 209 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ul} = A_1 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{ul} = 14600 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 17357,01 \text{ kg}$$

$$F_{ul} = 17357,01 \text{ kg}$$

$$K_{ul} = \frac{G \cdot A_1}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_1^2}}$$

$$K_{ul} = \frac{24400 \cdot 14600}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{209^2}} = 586925 \text{ kg/cm}$$

$$K_{ul} = 586925 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{01} = \frac{F_{ul}}{K_{ul}} = \frac{17357}{586925} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{01} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{ul} = \delta_{01} \times \mu = 0,029 \times 1,5 = 0,044 \text{ cm}$$

$$\delta_{ul} = 0,044 \text{ cm}$$

**2° MASCHIO:**

$$A_2 = \text{Area della sezione di base} = 1,12 \text{ m}^2 = 11200 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,69 \text{ m} = 169 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u2} = A_2 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u2} = 11200 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 13314,97 \text{ kg}$$

$$F_{u2} = 13314,97 \text{ kg}$$

$$K_{t2} = \frac{G \cdot A_1}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_2^2}}$$

$$K_{t2} = \frac{24400 \cdot 11200}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{169^2}} = 370298,10 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t2} = 370298,10 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{02} = \frac{F_{u2}}{K_{t2}} = \frac{13315}{370298,10} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{02} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{u2} = \delta_{02} \times \mu = 0,035 \times 1,5 = 0,053 \text{ cm}$$

$$\delta_{u2} = 0,035 \text{ cm}$$

**3° MASCHIO:**

$$A_3 = \text{Area della sezione di base} = 1,13 \text{ m}^2 = 11300 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_3 = \text{Larghezza del maschio} = 1,72 \text{ m} = 172 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u3} = A_3 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u3} = 11300 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 13433,85 \text{ kg}$$

$$F_{u3} = 13434 \text{ kg}$$

$$K_{t3} = \frac{G \cdot A_3}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_3^2}}$$

$$K_{t3} = \frac{24400 \cdot 11300}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{172^2}} = 380282,5 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t3} = 380282,5 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{03} = \frac{F_{u3}}{K_{t3}} = \frac{13434}{380282,5} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{03} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{u3} = \delta_{03} \times \mu = 0,035 \times 1,5 = 0,052 \text{ cm}$$

$$\delta_{u3} = 0,052 \text{ cm}$$

**4° MASCHIO:**

$$A_4 = \text{Area della sezione di base} = 0,96 \text{ m}^2 = 9600 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,57 \text{ m} = 157 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u4} = A_4 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u4} = 9600 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 11412,83 \text{ kg}$$

$$F_{u4} = 11412,83 \text{ kg}$$

$$K_{t4} = \frac{G \cdot A_4}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_4^2}}$$

$$K_{t4} = \frac{24400 \cdot 9600}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{157^2}} = 293489,70 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t4} = 293490 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{04} = \frac{F_{u4}}{K_{t4}} = \frac{11413}{293490} = 0,038 \text{ cm}$$

$$\delta_{04} = 0,038 \text{ cm}$$

$$\delta_{u4} = \delta_{04} \times \mu = 0,038 \times 1,5 = 0,058 \text{ cm}$$

$$\delta_{u4} = 0,058 \text{ cm}$$

**5° MASCHIO:**

$$A_5 = \text{Area della sezione di base} = 0,94 \text{ m}^2 = 9400 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,54 \text{ m} = 154 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{u5} = A_5 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u5} = 9400 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 11175 \text{ kg}$$

$$F_{u5} = 11175 \text{ kg}$$

$$K_{t5} = \frac{G \cdot A_5}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_s^2}}$$

$$K_{t5} = \frac{24400 \cdot 9400}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{154^2}} = 281409,50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$K_{t5} = 281409,50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\delta_{05} = \frac{F_{u5}}{K_{t5}} = \frac{11175}{281409,5} = 0,039 \text{ cm}$$

$$\delta_{05} = 0,039 \text{ cm}$$

$$\delta_{u5} = \delta_{05} \times \mu = 0,039 \times 1,5 = 0,059 \text{ cm}$$

$$\delta_{u5} = 0,059 \text{ cm}$$

**6° MASCHIO:**

$$A_6 = \text{Area della sezione di base} = 1,07 \text{ m}^2 = 10700 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,71 \text{ m} = 171 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{u6} = A_6 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u6} = 10700 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 12720,55 \text{ kg}$$

$$F_{u6} = 12720,55 \text{ kg}$$

$$K_{t6} = \frac{G \cdot A_6}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_6^2}}$$

$$K_{t6} = \frac{24400 \cdot 10700}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{171^2}} = 358134,4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$K_{t6} = 358134,4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\delta_{06} = \frac{F_{u6}}{K_{t6}} = \frac{12720,55}{358134,4} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{06} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{u6} = \delta_{06} \times \mu = 0,035 \times 1,5 = 0,053 \text{ cm}$$

$$\delta_{u6} = 0,053 \text{ cm}$$

**7° MASCHIO:**

$$A_7 = \text{Area della sezione di base} = 1,04 \text{ m}^2 = 10400 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_7 = \text{Larghezza del maschio} = 1,69 \text{ m} = 169 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u7} = A_7 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u7} = 10400 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 12363,90 \text{ kg}$$

$$F_{u7} = 12364 \text{ kg}$$

$$K_{t7} = \frac{G \cdot A_7}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_7^2}}$$

$$K_{t7} = \frac{24400 \cdot 10400}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{169^2}} = 343848,23 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t7} = 343843,23 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{07} = \frac{F_{u7}}{K_{t7}} = \frac{12364}{343843,23} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{07} = 0,035 \text{ cm}$$

$$\delta_{u7} = \delta_{07} \times \mu = 0,035 \times 1,5 = 0,053 \text{ cm}$$

$$\delta_{u7} = 0,053 \text{ cm}$$

**8° MASCHIO:**

$$A_8 = \text{Area della sezione di base} = 1,08 \text{ m}^2 = 10800 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,66 \text{ m} = 166 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u8} = A_8 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u8} = 10800 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 12839,43 \text{ kg}$$

$$F_{u8} = 12840 \text{ kg}$$

$$K_{t8} = \frac{G \cdot A_8}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_8^2}}$$

$$K_{t8} = \frac{24400 \cdot 10800}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{166^2}} = 350574,71 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t8} = 350574,71 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{08} = \frac{F_{u8}}{K_{t8}} = \frac{12840}{350575} = 0,036 \text{ cm}$$

$$\delta_{08} = 0,036 \text{ cm}$$

$$\delta_{u8} = \delta_{08} \times \mu = 0,036 \times 1,5 = 0,054 \text{ cm}$$

$$\delta_{u8} = 0,054 \text{ cm}$$

**9° MASCHIO:**

$$A_9 = \text{Area della sezione di base} = 0,82 \text{ m}^2 = 8200 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,24 \text{ m} = 124 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u9} = A_9 \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u9} = 8200 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 9748,5 \text{ kg}$$

$$F_{u9} = 9748,5 \text{ kg}$$

$$K_{t9} = \frac{G \cdot A_9}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_0^2}}$$

$$K_{t9} = \frac{24400 \cdot 8200}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{124^2}} = 188335,4 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t9} = 188335,4 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{09} = \frac{F_{u9}}{K_{t9}} = \frac{9748,5}{188335,4} = 0,051 \text{ cm}$$

$$\delta_{09} = 0,051 \text{ cm}$$

$$\delta_{u9} = \delta_{09} \times \mu = 0,051 \times 1,5 = 0,077 \text{ cm}$$

$$\delta_{u9} = 0,077 \text{ cm}$$

**10° MASCHIO:**

$$A_{10} = \text{Area della sezione di base} = 0,79 \text{ m}^2 = 7900 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 1,21 \text{ m} = 121 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{u10} = A_{10} \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u10} = 7900 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 9391,8 \text{ kg}$$

$$F_{u10} = 9392 \text{ kg}$$

$$K_{u10} = \frac{G \cdot A_{10}}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_{10}^2}}$$

$$K_{u10} = \frac{24400 \cdot 7900}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{121^2}} = 175613,13 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$K_{u10} = 175613 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\delta_{010} = \frac{F_{u10}}{K_{u10}} = \frac{9392}{175613} = 0,053 \text{ cm}$$

$$\delta_{010} = 0,053 \text{ cm}$$

$$\delta_{u10} = \delta_{010} \times \mu = 0,053 \times 1,5 = 0,080 \text{ cm}$$

$$\delta_{u10} = 0,080 \text{ cm}$$

**11° MASCHIO:**

$$A_{11} = \text{Area della sezione di base} = 1,43 \text{ m}^2 = 14300 \text{ cm}^2$$

$$h = \text{Altezza di calcolo (altezza del maschio)} = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{Larghezza del maschio} = 2,08 \text{ m} = 208 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \text{Tensione media a metà maschio} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{u11} = A_{11} \cdot f_{vk0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\beta \cdot f_{vk0}}}$$

$$F_{u11} = 14300 \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{0,62}{1,5 \cdot 1}} = 17000,36 \text{ kg}$$

$$F_{u11} = 17000 \text{ kg}$$

$$K_{t11} = \frac{G \cdot A_{11}}{1,2 \cdot h} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{h^2}{b_{11}^2}}$$

$$K_{t11} = \frac{24400 \cdot 14300}{1,2 \cdot 300} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{61000}{24400} \cdot \frac{300^2}{208^2}} = 572488,02 \text{ kg/cm}$$

$$K_{t11} = 572488 \text{ kg/cm}$$

$$\delta_{011} = \frac{F_{u11}}{K_{t11}} = \frac{17000}{572488} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{011} = 0,029 \text{ cm}$$

$$\delta_{u11} = \delta_{011} \times \mu = 0,029 \times 1,5 = 0,044 \text{ cm}$$

$$\delta_{u11} = 0,044 \text{ cm}$$

## Tabella riassuntiva:

N° Maschi murari	h (cm) Altezza maschio	b (cm) Larghezza maschio	A (cm <sup>2</sup> ) Area maschio	F <sub>u</sub> (kg) Forza ultima	K <sub>t</sub> $\frac{\text{kg}}{\text{cm}}$ Rigidezza	δ <sub>0</sub> (cm) Spost. elastico	δ <sub>u</sub> (cm) Spost. plastico
1	300	209	14600	17357	586925	0,029	0,044
2	300	169	11200	13315	370298	0,035	0,053
3	300	172	11300	13434	380282	0,035	0,052
4	300	157	9600	11413	293490	0,038	0,058
5	300	154	9400	11175	281409	0,039	0,059
6	300	171	10700	12720	358134	0,035	0,053
7	300	169	10400	12364	343843	0,035	0,053
8	300	166	10800	12840	350575	0,036	0,054
9	300	124	8200	9748	188335	0,051	0,077
10	300	121	7900	9392	175613	0,053	0,080
11	300	208	14300	17000	572488	0,029	0,044

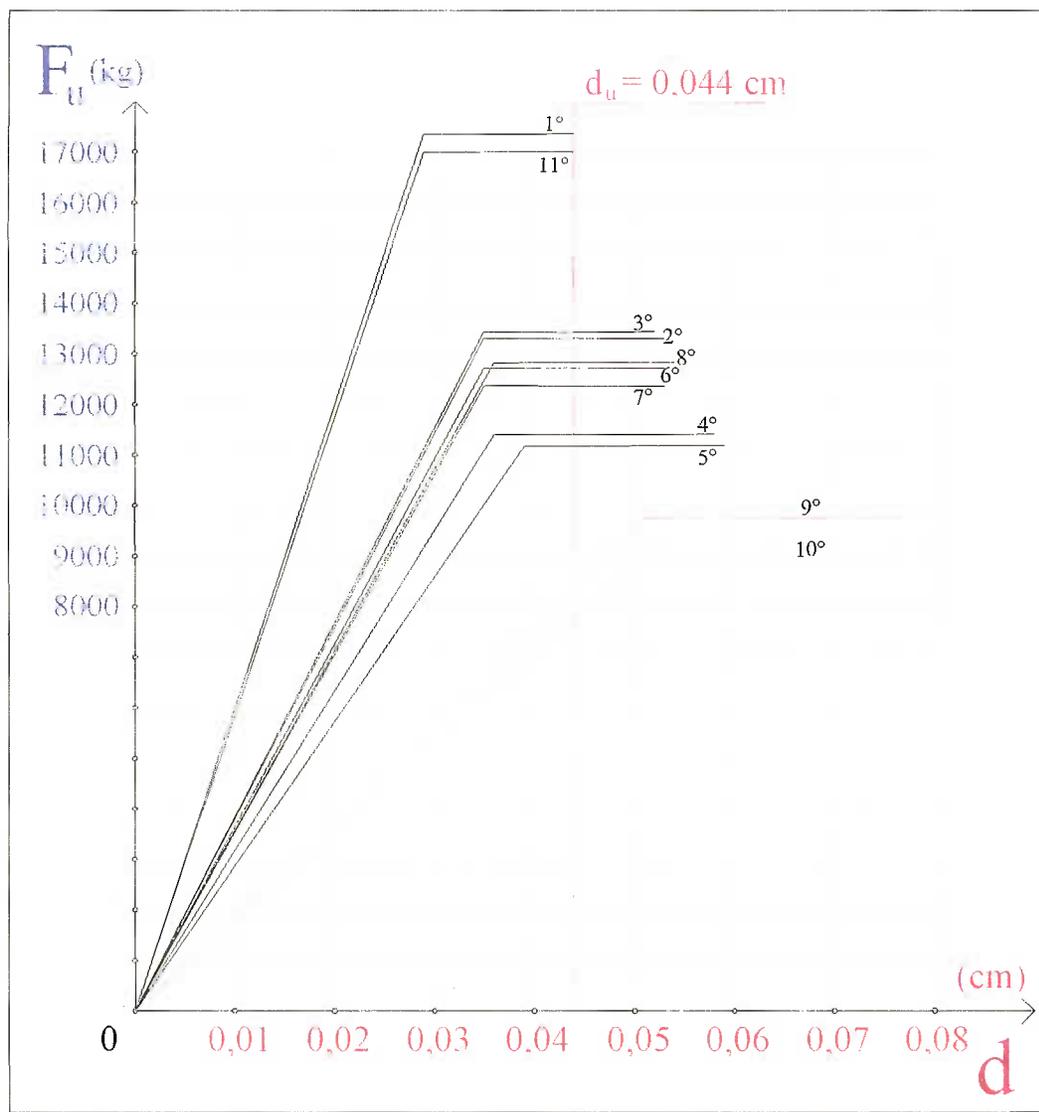
I primi maschi murari ad arrivare a rottura sono i due agli estremi della facciata longitudinale, il primo e l'undicesimo. Sono i maschi di larghezza e area maggiori, "i più tozzi":  $b_1 = 209$  cm;  $b_{11} = 208$  cm;  $A_1 = 14600$  cm<sup>2</sup>;  $A_{11} = 14300$  cm<sup>2</sup>.

Lo spostamento ultimo  $\delta_u = 0,044$  cm, rappresenta quindi il punto di collasso dell'intera struttura.

Quando questi due maschi murari arrivano a rottura altri due, il nono e l'undicesimo, che tra l'altro sono "i più snelli" di tutta quella serie, si trovano ancora in campo elastico, come è evidenziato nella tabella dai valori dei rispettivi spostamenti elastici:  $\delta_{09} = 0,051$  cm;  $\delta_{010} = 0,053$  cm.

Questi ultimi, quindi, non contribuiscono con la loro resistenza massima alla forza ultima dell'intera struttura.

Nel seguente grafico è rappresentato il comportamento di ogni maschio murario in base al rapporto tra forze e spostamenti, sforzi e deformazioni:



$F_u$  = Forza ultima, taglio ultimo di ogni maschio murario.

$d = \delta$  = Spostamenti.

Ogni curva indica il comportamento di un preciso maschio murario. Per ogni curva sono indicati sia lo spostamento al limite elastico  $\delta_0$  sia lo spostamento al limite plastico  $\delta_u$ .  $\delta_0$  segna il limite del comportamento elastico, nel grafico è il punto in cui la curva termina la fase lineare;  $\delta_0$  e  $\delta_u$  sono gli estremi del campo plastico, fase in cui non esiste più un rapporto proporzionale tra sforzi e deformazioni, per ogni curva è rappresentato dalla fase retta;  $\forall$  maschio  $\delta_u$  rappresenta il punto di rottura, nel grafico corrisponde al punto in cui termina ogni curva.

## Conclusioni:

Il punto di collasso della struttura si ha quindi con  $\delta_u = 0,044$  cm.

Il nono e il decimo maschi murari, al momento del collasso della struttura si trovano ancora in campo elastico, quindi non contribuiscono alla forza ultima complessiva con la loro resistenza massima.

La forza ultima totale è data dalla somma delle forze ultime dei maschi murari, più i contributi del 9° e del 10° maschio.

Contributo del 9° maschio murario:

$$F_{u9} = \delta_u \times K_{t9} = 0,044 \times 188335,4 = 8286,75 \text{ kg}$$

$$F_{u9} = 8286,75 \text{ kg}$$

Contributo del 10° maschio murario:

$$F_{u10} = \delta_u \times K_{t10} = 0,044 \times 175613 = 7726,97 \text{ kg}$$

$$F_{u10} = 7727 \text{ kg}$$

Forza ultima complessiva opposta dalla parete al sisma:

$$F_{\text{utot}} = F_{u1} + F_{u2} + F_{u3} + F_{u4} + F_{u5} + F_{u6} + F_{u7} + F_{u8} + (\delta_u \times K_{t9}) + (\delta_u \times K_{t10}) + F_{u11} =$$

$$= 17357 + 13315 + 13434 + 11413 + 11175 + 12720,55 + 12364 + 12840 + 8286,75 + 7727 + 17000 = 137632,3 \text{ kg.}$$

$$F_{\text{utot}} = 137632,3 \text{ kg.}$$

$$F_{\text{utot}} = 137632,3 \text{ kg} > F_s = 109033 \text{ kg}$$

La Forza ultima opposta dalla parete longitudinale è superiore alla Forza del sisma.

Quella parete, quindi, risulta essere verificata.

# **Anamnesi della copertura.**

## **Orditura secondaria e minore (terzere e travicelli):**

### **1. Analisi morfologica.**

**“Tetto alla Lombarda”:**

Le capriate sono collegate longitudinalmente rispetto all'asse dell'edificio, da travi di colmo, posate sulla sommità libera e da travi laterali parallele a quelle di colmo, denominate terzere, arcarecci o correnti, posate direttamente sui puntoni delle capriate e ad essi collegate generalmente mediante chiodi e gattelli.

Poggiati su questa orditura di travi orizzontali sono posti, nel verso della falda, travicelli o correntini a distanza di 24 centimetri l'uno dall'altro, sui quali infine è posato, parallelo alle terzere, uno scempiato di pianelle in cotto.

Il manto è costituito da tegole alla marsigliese.

## 2. Analisi dei materiali e loro requisiti.

### **Travicelli:**

Essenza del legno = Abete

Peso specifico =  $600 \text{ kg/m}^3$

Qualità del legno = II Categoria, Resinoso

Tensione ammissibile a flessione =  $102 \text{ kg/cm}^2$

Riduzione dell'elasticità per vetustà del 20% =  $(102/100 \times 20) = 20,4 \text{ kg/cm}^2$

Tensione ammissibile considerata =  $(102 - 20,4) = 81,6 \text{ kg/cm}^2$

Modulo di elasticità a flessione dell'abete =  $E = 9090 \cdot \sqrt{102} = 91804,4 \text{ kg/cm}^2$

Sezione = Quadrata

Dimensioni sezione =  $7,5 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm}$

Sollecitati a = Presso-flessione

### **Terzere:**

Essenza del legno = Pitch-pine

Legno di esportazione

Peso specifico =  $620 \text{ kg/m}^3$

Qualità del legno = I Categoria, Resinoso

Tensione ammissibile =  $133 \text{ kg/cm}^2$

Riduzione dell'elasticità per vetustà del 20% =  $(133/100 \times 20) = 26,6 \text{ kg/cm}^2$

Tensione ammissibile considerata =  $(133 - 26,6) = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

Modulo di elasticità a flessione del pitch pine =  $E = 9090 \cdot \sqrt{133} = 104831 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente di riduzione del modulo elastico =  $\theta = 2,4$

Questo coefficiente è in funzione della percentuale di umidità e della tensione di esercizio  $\sigma_f$ .

Modulo di elasticità a flessione del pitch pine a lunga durata =  $E_f / \theta = 104831 / 2,42 =$

$E_{f\infty} = 43320 \text{ kg/cm}^2$

Sezione = Rettangolare

Dimensioni sezione = h: 28 cm × b: 21 cm

Sollecitate a = Flessione deviata

### Differenza tra le essenze.

La differenza tra le due essenze di legno usate è conseguenza di una precisa scelta progettuale ed esecutiva di specializzazione delle singole specie in ragione delle funzioni svolte. Il pitch pine è, rispetto all'abete, un legno con maggiore peso specifico e resistenza a flessione; infatti viene usato per gli elementi sottoposti a maggiore sollecitazione.

### Condizione di vincolo.

La condizione di vincolo degli elementi strutturali (terzere e travicelli) è considerata quella di appoggio semplice.

### 3. Analisi del degrado e quadro fessurativo.

#### **Travicelli:**

L'effetto più disastroso del degrado dei travicelli si è manifestato nel crollo di intere porzioni di copertura.

Questi crolli non hanno coinvolto intere unità strutturali ma solo alcuni elementi dell'orditura minore, i travicelli (e naturalmente gli elementi sorretti: pianelle e marsigliesi); quindi, nonostante la gravità della situazione, almeno non è stata messa in crisi la stabilità dell'intero sistema strutturale.

Il crollo dei travicelli è dovuto a una concomitanza di fattori, primo fra tutti l'abbandono in cui versa l'intero complesso strutturale.

Bisogna però rilevare anche un limite strutturale intrinseco: una lunghezza libera d'inflessione del travicello,  $l_0 = 230$  cm, eccessiva rispetto alla sua sezione,  $7,5$  cm  $\times$   $7,5$  cm, che risulta essere sproporzionata rispetto alla lunghezza media dei travicelli (infatti, per sezioni di  $8$  cm  $\times$   $8$  cm, la luce è, in genere, di circa  $170$  cm).

Si è pensato di poter formulare un'ipotesi circa la genesi del degrado, degenerato nel collasso di parti di copertura, partendo dalla constatazione che i crolli interessano le porzioni del manto prossime alle pareti longitudinali esterne dell'edificio e cioè constatando che i travicelli coinvolti sono sempre quelli che appoggiano un loro estremo direttamente sulla muratura:

L'estremità delle travi affondate nella muratura, infatti, sono i punti più esposti al rischio di attacchi biotici.

La mancanza totale di manutenzione ha avuto una delle sue peggiori conseguenze nella non sostituzione dei pluviali logori o danneggiati, ciò ha impedito il corretto deflusso delle acque piovane, provocando un ristagno delle stesse, soprattutto concentrato nel breve tratto tra la sottogronda della copertura e la mensola del fregio frontale.

L'acqua è stata così in parte assorbita dalla muratura.

Umidità e infiltrazioni d'acqua hanno creato le condizioni migliori per l'attacco di insetti e funghi.

Una parziale degradazione biotica ha accelerato il processo di degenerazione del legno, riducendone sostanzialmente le capacità meccaniche. Così proprio in corrispondenza dell'appoggio sulla muratura i travicelli deteriorati non sono stati più in grado di fornire le originarie prestazioni meccaniche e di conseguenza si sono spezzati sotto l'azione dello sforzo di taglio, massimo proprio agli estremi dell'elemento.

Una volta tranciati i travicelli si è creato un sistema strutturale instabile a cui è seguito, nella maggior parte dei casi, il crollo.

Aiuto alla formulazione di quest'ipotesi è stata la vista diretta di travicelli spezzati che ancora resistono al crollo.

«Nelle travi inflesse semplicemente appoggiate non è infrequente la rottura a taglio proprio in corrispondenza dell'appoggio, dove la sollecitazione di taglio assume il valore massimo; spesso il collasso viene raggiunto perché il legno è già degradato da agenti biotici, quali funghi, che proprio nelle parti lignee, poco areate, strette dalla muratura, trovano le condizioni ideali di insediamento. La rottura è ad andamento prevalentemente verticale.»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 299.

## Terzere:

Il fenomeno di degrado più evidente e diffuso su questi elementi sono le sgorature d'acqua:

caratteristiche macchie biancastre che pigmentano la superficie del legno e rappresentano l'alone lasciato dall'acqua che, dopo aver bagnato il legno, è evaporata.

Non è un caso che le sgorature siano presenti maggiormente negli elementi più prossimi al manto di copertura, cioè sono quelli più esposti alle infiltrazioni d'acqua.

L'acqua riesce ad infiltrarsi anche attraverso le piccole sconnessioni del manto di copertura ma nel caso, come questo, di presenza di lucernai o di lacune del manto, il fenomeno delle sgorature è assai più evidente.

Sulla superficie delle terzere sono presenti, in misura minore, anche macchie scure. Questo fenomeno di alterazione cromatica potrebbe essere indizio di attacco fungino incipiente, in particolare i sintomi della carie bruna.

Anche se all'interno della segheria ci sono condizioni di umidità, luce e temperatura favorevoli all'insediamento dei funghi, che avvalorerebbero quest'ipotesi, tuttavia, in seguito ad un'osservazione più attenta e ravvicinata, si è escluso l'attacco fungino e si ritiene che le macchie scure facciano parte anch'esse dell'alone creato dalle sgorature d'acqua.

Probabilmente, nonostante il totale abbandono e la mancanza di manutenzione, almeno la presenza di una buona aerazione ha scongiurato il pericolo di attacchi biotici.

Altro effetto del degrado sulle terzere sono la presenza di fessurazioni.

Il loro tipico andamento longitudinale, a ramo unico, connota che derivano da un eccesso di sforzi flessionali.

L'ipotesi ha in parte conferma dalle verifiche statiche, in quanto da esse si evince che le terzere sono sottodimensionate rispetto agli sforzi a cui sono sottoposte, a causa soprattutto dell'eccessiva ampiezza delle campate (della distanza tra una capriata e l'altra).

L'andamento longitudinale delle fenditure è però caratteristico anche delle fessurazioni da ritiro.

Sono le variazioni della percentuale di umidità a provocare variazioni dimensionali delle terzere, che a loro volta provocano deformazioni e fessurazioni nel legno.

Questa sembrerebbe la causa più attendibile anche perché le terzere lesionate sono per lo più quelle in prossimità dei lucernai o delle lacune nel manto.

«Le fessurazioni delle travi possono essere agevolate dalla presenza di umidità conseguente ad una lacuna nel manto di copertura.»<sup>2</sup>

Se si volesse evidenziare la causa principale circa l'origine delle fessurazioni, se sia di tipo strutturale o fisiologica, si opterebbe per la seconda ipotesi, in quanto l'andamento delle fenditure sembra seguire la direzione delle fibrature del legno: **«le fenditure fisiologiche da ritiro si distinguono per essere congruenti alla fibratura, per avere un aspetto “naturale”, a differenza delle lesioni strutturali che hanno andamento indipendente dalla fibratura.»**<sup>3</sup>

In definitiva sembra opportuno affermare che le fessurazioni siano dovute principalmente agli effetti combinati di due fattori:

- Sforzo di flessione superiore a quello ammissibile dalla sezione delle terzere, conseguenza di un disegno errato degli elementi strutturali, cioè di un loro insufficiente dimensionamento.
- Variazioni dimensionali delle terzere, in conseguenza a variazioni igrometriche, cioè fenomeno di ritiro del legno per effetto dell'umidità.

<sup>2</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 50.

<sup>3</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 233.

## Capriata Polonceau:

### 1. Analisi morfologica.

Nei primi decenni dell'Ottocento iniziarono, specialmente in Francia e in Inghilterra, le ricerche «per realizzare travi lignee armate e più in generale strutture miste legno-ferro in cui il legno era sollecitato prevalentemente a compressione ed il ferro (generalmente puddellato: cioè una specie di acciaio molto impuro) a trazione, con piccoli elementi di ghisa sollecitati pure a compressione. Queste ricerche misero in evidenza la difficoltà di sfruttare appieno la grande resistenza a trazione dei legnami e in sostanza introdussero nuovi concetti di specializzazione prestazionale per i materiali disponibili per le strutture.

L'esito più noto, straordinario e duraturo di tali ricerche è stata, nel 1839, l'invenzione da parte di Camille Polonceau dell'omonima capriata, con puntoni di legno, tiranti di ferro, saettoni di ghisa, caratterizzata peraltro da una geometria particolarmente idonea al razionale utilizzo delle qualità dei diversi materiali; questa struttura è di largo impiego ancora oggi nella geometria originaria anche se con materiali diversi.»<sup>4</sup>.

La capriata è composta da 9 pezzi:

- 2 puntoni lignei
- 3 tiranti in metallo, che insieme compongono la catena.
- 2 tiranti obliqui, sempre in metallo, che collegano la catena al colmo della capriata.
- 2 contraffissi in ghisa, che sono gli elementi più particolari dell'unità strutturale: presentano la caratteristica sezione cruciforme, che meglio si adatta a sopportare gli sforzi di compressione.

**Nella capriata Polonceau vengono utilizzati tre materiali diversi, ognuno specializzato in una precisa funzione e sottoposto alla sollecitazione a cui meglio reagisce:**

---

<sup>4</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 91-92.

- Tutti gli elementi sottoposti a trazione sono in “acciaio”, o meglio in ferro puddellato.
- Gli unici due elementi metallici che lavorano a compressione non sono in “acciaio” ma in ghisa, che, com'è noto, essendo composta di una percentuale maggiore di carbonio resiste a compressione meglio di un acciaio più puro.
- Gli elementi lignei sopportano la sollecitazione di presso-flessione.

## 2. Analisi dei materiali e loro requisiti.

### **Puntoni:**

Essenza del legno = Pitch-pine

Legno di esportazione

Peso specifico =  $620 \text{ kg/m}^3$

Qualità del legno = I Categoria, Resinoso

Tensione ammissibile =  $133 \text{ kg/cm}^2$

Tensione ammissibile con riduzione per vetustà del 20% =  $133 - (133/100 \times 20) = 106,4 \text{ kg/cm}^2$

$E_{lc} = 43320 \text{ kg/cm}^2$

Sezione = Quadrata

Dimensione sezione =  $31 \text{ cm} \times 31 \text{ cm}$

Sollecitati a = Presso-flessione

### **Tiranti:**

Materiale = Ferro puddellato: acciaio molto impuro.

Si è ipotizzato un  $Fe_{360}$ .

Peso specifico =  $7550 \text{ kg/m}^3$

Valore risultato dalla media effettuata tra peso specifico acciaio 7850 e la ghisa  $7250 \text{ kg/m}^3$

Tensione ammissibile =  $16 \text{ kg/mm}^2$

Sezione = Circolare

Dimensioni sezione = Diametro 3 cm.

Sollecitati a = Trazione

### **Contraffissi:**

Materiale = Ghisa

Peso specifico =  $7250 \text{ kg/m}^3$

Tensione ammissibile =  $16 \text{ kg/mm}^2$

Sezione = Cruciforme

Dimensioni sezione di ogni ala:  $0,8 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$

Sollecitati a = Compressione

### 3. Analisi degrado.

I singoli elementi della capriata, soprattutto i puntoni, risultano essere in buono stato di conservazione.

Sono le **connessioni** della Polonceau, cioè i collegamenti tra i puntoni e la catena e tra i due puntoni al colmo, i punti nevralgici dell'intera unità strutturale.

Le connessioni infatti sono realizzate tramite **cuffie di ghisa** quindi in quei punti coesistono due elementi di materiale (legno e metallo) e comportamento diversi.

«Cuffie di ghisa nei nodi tra i puntoni e le catene e tra i puntoni al colmo, possono determinare situazioni di condensa assai pericolose per l'integrità del legname per l'eventualità di attacchi biotici, specialmente micotici.»<sup>5</sup>.

I problemi che possono determinare queste cuffie, vere e proprie incamiciature, sono principalmente tre.

- **Pericolo di condensa sull'interfaccia legno-metallo.**
- **Pericolo di attacchi biotici (funghi termiti).**
- **Impossibilità di ispezionare successivamente il legname.**

Un esempio eclatante del tipo di degrado, che può svilupparsi nelle connessioni di una Polonceau, viene fornito dalle capriate della stazione di Pescia. «L'estesa cuffia metallica, che chiude il nodo tra catena e puntone, ha favorito un intenso attacco biotico che ne ha ridotto notevolmente la capacità portante della struttura. »<sup>6</sup>.

In quel caso le connessioni erano talmente degradate da rendere necessario un totale scattivamento delle testate dei puntoni e il loro ripristino tramite protesi dello stesso legname.

<sup>5</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 88.

<sup>6</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 226.

Dall'osservazione attenta del loro aspetto, invece, i puntoni e le loro connessioni risultano in un buono stato di conservazione.

Nonostante il grave stato di abbandono in cui versano gli edifici, il legno non presenta sintomi eclatanti di attacchi biotici, fatta eccezione di due puntoni che sembrano recare i segni di carie fungine ma in stato non avanzato. Entrambi i casi comunque si sono sviluppati in corrispondenza di connessioni, quella che collega il puntone con la catena e affonda nella muratura.

In un caso il legno è diventato molto più scuro, quasi ricorda l'aspetto del legno carbonizzato, che sono i sintomi di una carie bruna<sup>7</sup>.

Anche nell'altro caso il puntone ha subito un'alterazione cromatica, divenendo di un colore bianco giallastro, che potrebbe essere indice di una carie bianca incipiente<sup>8</sup>.

Invece, il degrado generato da insetti xilofagi è subdolo perché spesso, anche se non è percepibile all'occhio, può essere assai esteso e diffuso all'interno del materiale (dove questi insetti scavano profonde gallerie, che riducono sostanzialmente le caratteristiche di resistenza del materiale).

Un metodo d'indagine antico ma appropriato per questo problema (tanto rudimentale quanto efficace), è quello di battere il legno con un martelletto; un suono sordo ed ottuso rileverebbe infatti la presenza di difetti interni occulti.

Si è così ricorsi al **metodo della percussione** che ha pienamente confermato l'analisi visiva di bontà del materiale.

---

<sup>7</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 223.

<sup>8</sup> G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, U. Hoepli, 1996, p. 223.

## **Interventi di restauro e consolidamento:**

### Travicelli.

Nella fase di ripristino delle parti di copertura lacunosi è naturalmente anche inclusa l'operazione di sostituzione dei travicelli spezzati.

Il problema della prevenzione del degrado biotico nelle testate delle membrature lignee inserite nella muratura è da affrontare in termini di prevenzione e di assiduo controllo.

Devono essere previsti trattamenti preservanti, soprattutto profondi (iniezioni in appositi fori, che servono anche di ispezione) e la realizzazione di camminamenti di ispezione.

I controlli non devono riguardare solo le membrature ma soprattutto la tenuta del manto di copertura e delle pareti.

Gli interventi previsti sono pochi ma essenziali:

- Assicurare una buona aerazione
- Consentire una diretta ispezione
- Ripristinare i pluviali danneggiati
- Applicare nelle testate dei travicelli trattamenti preservanti da attacchi biotici.

## Terzere.

### Aumento della sezione resistente:

Le terzere rappresentano gli unici elementi di tutto il complesso strutturale, copertura, che necessitano di un vero intervento di consolidamento; le verifiche statiche infatti rivelano che sono sottoposti ad un carico superiore alla loro tensione ammissibile.

Il problema delle terzere è il loro sottodimensionamento: presentano cioè una sezione inferiore a quella che sarebbe necessaria per tollerare gli sforzi a cui sono sottoposte.

Si è pensato di procedere proprio in questa direzione trovando un metodo che aumentasse la sezione resistente, con l'esclusione però di interventi eccessivamente intrusivi, come l'inserimento di lamine longitudinali d'acciaio, o addirittura drastici come la sostituzione delle attuali terzere con altre nuove di sezione appropriata.

Il primo passo è stato prevedere un alleggerimento dei carichi trasmessi dalla copertura, tramite la sostituzione dello scempiato in cotto di piastrelle (che avrebbe appesantito il carico, prevedendo una soletta di calcestruzzo alleggerito e una rete metallica) con un doppio tavolato, che oltre alla leggerezza ha il notevole vantaggio di collaborare con la sezione resistente della terza attraverso il suo spessore (naturalmente deve essere previsto un adeguato collegamento con viti autofilettanti, in acciaio speciale perché ben sopportino le sollecitazioni di taglio a cui vengono sottoposte).

Il secondo punto importante del consolidamento è stato l'inserimento di protesi in legno lamellare, posizionate sull'estradosso delle terzere, negli spazi tra un travicello e l'altro (quindi lunghe  $\approx 24$  cm), di un'altezza pari a quella dei travicelli ( $= 7,5$  cm), e collegate ad esse tramite viti autofilettanti di acciaio speciale, affondate fino circa ai  $\frac{2}{3}$  dell'altezza delle terzere.

Grazie all'inserimento di queste protesi in legno lamellare e del doppio tavolato ligneo la sezione della terza si può considerare come avente un'altezza pari alla somma dei tre elementi e cioè di ben 40,5 cm ( $= 28+7,5+5$ ).

Il fatto che le protesi non costituiscano un elemento continuo non deve far dubitare circa l'efficacia della soluzione in quanto, la parte frammentata non interessa la parte più sollecitata a flessione ma va a inserirsi in quella porzione della sezione che lavora a compressione.

### Eliminazione delle fessurazioni:

Le fenditure di natura fisiologica derivanti cioè del ritiro non devono, è ovvio, essere richiuse con materiali rigidi perché costituiscono dei giunti naturali che permettono agli elementi di subire variazioni dimensionali senza ulteriori traumi.

Poiché, però, le fenditure offrono il riparo ideale per la deposizione di uova da parte di insetti, in particolare quegli xilofagi, sarebbe meglio cercare di eliminarle.

Un tempo era usanza riempire la parte esterna dello spazio vuoto con sverzature di legno che accuratamente dipinte e patinate davano alla trave un aspetto integro: ciò era giustificato nelle membrature sottodimensionate od in quelle sottoposte a trazione.

Oggi appare più idoneo ricucire i lembi della lesione con materiali plastici, almeno in una prima fase, trasparenti e reversibili, quali ad esempio i siliconi. L'operazione sarà preceduta da spazzolature interne, raccogliendo accuratamente la polvere e gli altri detriti e distruggendoli per evitare il diffondersi di uova e di spore, e da una passata di antisettico, eventualmente a spruzzo, ben addentro alla fessura.

### Eliminazione delle sgorature d'acqua:

Il problema degli aloni biancastri può essere eliminato tramite la pulitura della superficie delle terzere; mentre la causa delle sgorature, l'infiltrazione d'acqua, verrà automaticamente eliminata attraverso il ripristino del manto di copertura che, tra l'altro, prevede anche l'inserimento di uno strato impermeabilizzante.

Inoltre sarà opportuno dotare i lucernai di canali di raccolta e di scolo dell'acqua piovana (per evitare sia il problema delle sgorature che quello di ulteriori fessurazioni).

## Connessioni della capriata Polonceau.

Il problema delle connessioni delle Polonceau è di natura congenita poiché il legno viene messo a contatto col metallo, che essendo un materiale da elevato coefficiente di trasmissione del calore rispetto al legno, provoca condense sulla superficie di contatto. L'umidità di condensa può generare il rischio di attacchi biotici.

I punti principali di cui è composto l'intervento sono:

- Il monitoraggio e la pulizia sistematica.

La pulizia sistematica e la rimozione di polveri e residui vari deve essere effettuata con sistematicità e ricorrenza, avendo cura di non diffondere le polveri depositate; quindi da compiersi con l'uso estensivo di bidoni aspirapolvere, o con spazzole tenere e recipienti di raccolta.

Il progetto di destinazione d'uso prevede l'inserimento di un ballatoio che costituisce il percorso dell'esposizione.

Questa passerella sopraelevata, ai fini della manutenzione dell'edificio, offre l'enorme vantaggio di facilitare il monitoraggio e le operazioni di pulizia sulle membrature della copertura, almeno dal lato settentrionale.

Per poter assicurare le ispezioni anche sul lato meridionale sono state previste delle mensole che permettano l'appoggio di passerelle e camminamenti removibili.

- Assicurare una buona aerazione.

L'aerazione è importantissima per ridurre la possibilità di condense e quindi per scongiurare il pericolo di attacchi biotici.

Fortunatamente i due padiglioni sono dotati di un numero notevole di aperture, tra l'altro poste in pareti opposte (nei lati nord e sud) e senza interruzioni di pareti intermedie, che è la soluzione migliore per una corretta circolazione dell'aria. Nel padiglione minore sono presenti anche sul tetto dei sistemi di aerazione, tegole, dette a bocche di lupo, dotati di maniche di ventilazione.

- Applicazione periodiche di antiparassitari.

E' necessario ricorrere periodicamente alle applicazioni di sostanze antiparassitarie.

I trattamenti sulle membrature si applicheranno a pennello, ripetutamente, per ottenere una sufficiente penetrazione; durante queste operazioni gli operatori dovranno essere muniti di maschere protettive.

Alternativa all'uso di queste sostanze tossiche è offerta dall'applicazione di feromoni sessuali, che sembrano efficaci e non sono tossici per l'uomo ma sono ancora allo stato sperimentale.

## Valutazione dello stato di conservazione del paramento murario.

### Analisi dei materiali e delle tecniche costruttive.

Le pareti della segheria sono realizzate in muratura in pietrame misto non squadrato, composto da residui di lavorazione dei blocchi in marmo, mattoni, pietre arenarie e ciottoli di fiume, il tutto legato con abbondante malta (con molta probabilità aerea).

Particolare riguardo è stato posto nell'esecuzione degli angoli degli edifici, i punti più sollecitati della struttura, assumendo l'fattezze di paraste angolari.

Gli angoli sono sporgenti rispetto al piano della muratura come detta il codice decorativo della facciata, e realizzati in mattoni e blocchi di marmo squadrati, che forniscono una maggiore resistenza alle sollecitazioni rispetto al pietrame non squadrato.

Tutte le aperture sono messe in risalto da cornici aggettanti, eseguite in mattoni, fatta eccezione dei davanzali delle finestre, costituiti da mensole in marmo.

Ancora marmo è utilizzato come elemento di finitura (sebbene occultato dall'intonaco) nelle modanature del fregio. Le modanature del fregio sono realizzate in mattoni pieni tagliati a 45° su una testa, e successivamente rifiniti in gesso; tra i materiali costituenti il fregio sono inseriti elementi in lavagna con la funzione di allontanare le acque piovane dalla parete sottostante.

L'intero manufatto è rifinito all'interno e all'esterno con un intonaco formato da tre diversi strati (come ben si distingue dalle parti distaccate), questi sono:

- Il **Rinzaffo** (strato di ancoraggio o di aderenza): è il primo strato ed ha il compito di legare meccanicamente il supporto agli strati successivi. Nel caso in analisi è costituito da malta di calce aerea, con una proporzione calce/inerte di 1:3; la granulometria della sabbia è grossa e presenta uno spessore di circa 10-15 mm.

- L'**Arriccio** (strato di livellamento, corpo o strato di fondo): è il secondo strato ed ha il compito di correggere le imperfezioni del supporto (planarità) e di opporre una buona resistenza alla pioggia. In questo caso pare essere costituito da malta di calce, più grassa di quella del rinzaffo, con una proporzione di 1:2 fra legante ed inerte che, in questo caso, è costituito da sabbia di granulometria media; il suo spessore è di circa 5-6 mm.
- La **Finitura** (o **velo**): rappresenta l'ultimo strato costituente l'intonaco; ha il compito di definire, con la sua tessitura, l'aspetto esterno dell'edificio e di creare una base appropriata alla tinteggiatura. In questo caso è costituito da malta di calce grassa con inerti fini e finissimi, il suo spessore è di circa 2 mm.
- La **Tinteggiatura**: è un velo cromatico-protettivo molto sottile, in questo caso ocra, formato da una miscela di terra e calce aerea.

Il metodo d'esecuzione dell'intonaco era piuttosto lungo e complicato ma, buoni materiali e attenta esecuzione assicuravano una durata dell'opera impensabile per i nostri tempi, difatti in alcuni punti del prospetto Sud l'intonaco è rimasto quasi intatto, nonostante l'abbandono.

La copertura dell'edificio è a capanna (con gronda e colmo costanti) di tipo "alla Lombarda", dove gli elementi (in legno e laterizio), partendo dall'interno sono: Terzere, Travicelli, Pianelle e Marsigliesi. Gli elementi portanti la copertura sono capriate Polonceau, con puntoni in legno di pitch pine e tutti gli altri elementi in metallo, o meglio ferro puddellato.

Nel capannone più piccolo la copertura è diversa, cioè ha una terza in più.

## Analisi del degrado.

La principale causa del degrado è la vetustà dell'edificio unita all'abbandono, ma altri fattori ambientali e climatici hanno contribuito, prima fra tutti l'umidità; quella relativa è molto alta in questa zona e quella specifica lo stesso, perché accentuata dalla costante presenza di acqua (trasportata dalla gora), necessaria alle tecniche di lavorazione in uso nella segheria. La parte più interessata dal degrado è l'intonaco che ha reagito sfogliandosi in parte o totalmente (fenomeno di distacco).

Gli effetti dell'umidità di condensazione si notano soprattutto nei due prospetti corti, delle pareti interne, che sono confinanti con gli ambienti che fungevano da serbatoi d'acqua.

Gli effetti dell'umidità di risalita sono più evidenti nella fascia bassa delle pareti interne, quella adiacente al terreno; il fatto che i mezzi di smaltimento delle acque piovane e reflue non siano più efficienti (oltre al fatto che non è mai stata presente una pavimentazione nella segheria) fanno sì che si sviluppino fenomeni di degrado legati all'umidità di acque disperse raccoltesi in pozzanghere, dando origine ad ulteriori fenomeni di deterioramento.

La maggior parte dei sintomi analizzati riguardano l'intonaco, ed hanno un'origine legata all'acqua e all'umidità :

### **-Perdita della tinteggiatura:**

Uno dei primi accenni di deterioramento che subisce l'intonaco è la perdita della tinteggiatura, ossia del pigmento colorato che lo riveste: è di solito conseguenza del dilavamento delle acque meteoriche.

### **-Rigonfiamento:**

È quel fenomeno di degrado che precede il distacco. L'acqua, precedentemente assorbita dalla muratura, evaporando genera il sollevamento degli strati d'intonaco a cui segue la caduta degli stessi (Distacco).

**-Alterazione cromatica:**

Si manifesta attraverso una perdita di intensità del tono del pigmento. E' un fenomeno che agisce non solo sull'aspetto del materiale ma addirittura sulla sua natura. L'intonaco cambia colore, diventa grigio scuro, assume una diversa consistenza (cioè sembra "secco"), risultando alterato rispetto alla sua natura chimica.

**-Alterazione della tessitura:**

Interessa la morfologia del materiale che assume una conformazione diversa da quella originaria. Così succede alla malta cementizia che, avendo una presa notevole sul supporto, non si distacca ma si corruga. Il fattore che provoca questo fenomeno, nel nostro caso, è ancora l'umidità.

Sono state poi evidenziate due voci particolari di degrado legate all'uso inappropriato della malta cementizia:

**-Macro integrazioni con malta cementizia:**

Si riferiscono ad antichi interventi di ripristino dell'intonaco eseguiti in maniera sommaria e non rispettando l'uso del materiale originario.

**-Limitate integrazioni con malta cementizia:**

Si riferiscono sempre all'introduzione di materiale non congruo, ma l'uso è limitato a piccole porzioni. Infatti serviva a eliminare piccole mancanze o a fissare piccoli elementi, necessari alle lavorazioni in uso nella segheria.

**-Macchie:**

I tipi di macchie trovate sulla superficie muraria sono tre: macchie di vernice, macchie di grasso e quelle di ruggine. Ampie macchie di grasso si trovano in corrispondenza dei fori, nella muratura,

dove appoggiavano gli alberi di trasmissione dei macchinari: il grasso veniva colato nel cardine come lubrificante. Macchie di ruggine, invece, si trovano in corrispondenza di tutti gli elementi metallici applicati (in una fase successiva a quella di realizzazione) all'edificio, ma l'esempio più chiaro si trova nella parete esterna lunga, cioè dove era in funzione la pescatora. Alcuni degli elementi costituenti la ruota erano in ferro (alcuni sono ancora presenti) e in conseguenza al ruscellamento dell'acqua (sia quella piovana, che quella sollevata dall'impianto ) hanno provocato **colaticci rugginosi** su tutta la parete.

#### **Erosione:**

Sempre in conseguenza ai movimenti di macchinari ci sono sulle pareti interne tracce di erosione per abrasione (cause meccaniche), ad esempio il caso dei solchi circolari incisi sull'intonaco dai volani di trasmissione del moto.

#### **Efflorescenze saline:**

Sono macchie di colore biancastro e aspetto cristallino e pulverulento, circostanziate in particolari punti dell'edificio, soprattutto in prossimità della gora. Questo per due ragioni fondamentali: la prima è che la parte orizzontale voltata della gora è realizzata interamente in mattoni; la seconda l'abbondante presenza di acqua trasportata dal canale. L'acqua molto spesso ha l'effetto di sciogliere e portare in superficie i sali minerali (residui della cottura dei laterizi) in mattoni difettosi.

#### **Parti mancanti:**

Sono prevalentemente conseguenze dell'incuria e dell'abbandono, o in alcuni casi di demolizioni incaute.

#### **Opere di consolidamento in C.A. :**

Più che di degrado si deve parlare di non appropriati interventi conservativi, ma in questo caso, oltre ai materiali, anche le

tecniche costruttive non sono consone alla originaria fattura del manufatto. Inoltre all'interno dell'edificio vennero realizzate delle vasche raccogliatrici in C.A. che nella proposta di intervento sono prese in considerazione solo per l'eliminazione.

**Mancanza di elementi della copertura e crollo di porzioni della stessa:**

I fenomeni di dissesto della copertura da quelli minori, come la perdita di elementi di rivestimento, a quelli più gravi come il crollo di intere porzioni, sono tutti da attribuirsi sia all'incuria che all'abbandono, ma soprattutto alla vetustà dell'edificio.

**Fenomeni che riguardano il Biodeterioramento:**

La degradazione dei materiali per effetto di cause esterne naturali, come quella dovuta ai microrganismi o alla vegetazione infestante, può essere molto invasiva, è quindi il caso di soffermarsi più a lungo ad analizzare il fenomeno.

In ampie porzioni delle pareti della segheria si è stabilita una flora batterica, che ha per nicchia ecologica una pellicola biologica che avvolge la superficie. Il prodotto finale dei metabolismi dei batteri contenuti in queste microflora è la formazione di acidi (solfonico, nitrico, ecc..) che attaccano le superfici lapidee del manufatto edilizio.

Oltre ai microrganismi, fra gli agenti della biodegradazione, si trovano i licheni: questi sono pericolosi perché hanno un corpo vegetativo, detto tallo, che in alcuni casi (quando non è lobato) può incorporarsi al substrato. La penetrazione non è molto profonda ma significativa: da 0,2 a 0,4 mm. Anche nel caso dei licheni il prodotto di rifiuto sono degli acidi: acido ossalico (prodotto in maggiori quantità a mano a mano che invecchia il lichene); l'acido vulpinico; l'acido roccellico; l'acido lecanorico. È comunque certo che il calcio viene salificato o chelato dagli acidi prodotti dai licheni e quindi asportato dal substrato calcareo al quale aderiscono. La corrosione primaria ad opera dei licheni

può essere facilmente continuata da altre generazioni licheniche o da alghe perforanti che trovano già l'impianto dell'alga lichenica.

In definitiva si ha la successione di diversi agenti biologici che preparano la via ad agenti più distruttivi. La presenza di terriccio, la porosità o poca compattezza del substrato, l'umidità, l'apporto di fosfati derivante dal guano dei volatili, moltiplicano grandemente la possibilità di successo nell'impianto di organismi sulle superfici lapidee e fittili all'aperto.

Non minori sono i pericoli per i medesimi materiali negli ambienti al coperto: in particolare una famiglia di Cianoficee, o Alghe blu, ha il proprio habitat di elezione in luoghi a bassa illuminazione e a umidità costante, formando dei rivestimenti spessi e gelatinosi di colore scuro, ricchi di glucidi e di sostanze azotate che costituiscono un mezzo di coltura ideale per i batteri, licheni e funghi e anche per vegetali superiori le cui radici possono provocare ulteriori danni.

La colonizzazione biologica sulle pietre non appare subito evidente perché all'inizio è costituita da una microflora quasi invisibile, di batteri e di funghi; ad essa seguono muschi e licheni e successivamente i semi più leggeri portati dal vento o dai volatili, gli insediamenti, dapprima sporadici e casuali, si trasformano in fertili colonie che si scambiano semi e si allargano.

Si può notare che le pareti della segheria esposte a sud sono meno aggredite da questi micro-organismi: sono meno ricettive poiché divengono sedi di insediamenti capaci di sopravvivere senza acqua, mentre le murature esposte a nord, sono soggette a minore evaporazione, quindi offrono l'ambiente più favorevole all'insediamento.

La microflora così stabilizzata prepara quindi l'insediamento alla vegetazione superiore che costituisce uno degli elementi disgreganti più efficaci; le radici di tipo fascicolato o fittonante, non solo raggiungono lunghezze e dimensioni tali da provocare

fessurazioni in volte, muri e pavimenti, ma possono attaccarne i materiali con i loro essudati.

La vegetazione infestante, nel nostro caso, è prevalentemente di tipo erbaceo e arbustivo e, sebbene in minor quantità, anche di tipo arboreo.

L'azione negativa dell'inquinamento biologico dovuta all'attacco da funghi, licheni è accompagnata dall'azione di insetti attivi nei riguardi di determinati materiali: legno, materiali organici, ecc.

## Proposte di intervento.

### **Operazioni di rimozione.**

La presenza di vegetali superiori appartenenti a specie erbacee, suffruticose e arboree, è causa di una serie di azioni fisiche, chimiche e biologiche che attaccano il costruito, favorendone ed accelerandone il degrado. Sarebbe pertanto necessario il controllo della diffusione di tale vegetazione anche dopo il primo intervento di eliminazione.

L'intervento andrà effettuato in coincidenza con il periodo di maggiore attività vegetativa della specie da combattere. Nel caso di trattamenti su vegetazione "a terra" si potrà intervenire anche in pre-emergenza, cioè prima dell'inizio del periodo vegetativo.

In generale tutta l'area che circonda la segheria è stata trattata come una discarica dai laboratori di marmo limitrofi: dopo aver provveduto all'eliminazione dei detriti, sarà necessario compiere una vera e propria bonifica dell'area di pertinenza della segheria.

La vegetazione infestante è principalmente di tipo arbustivo e potrebbe essere bene estirpata mediante l'uso congiunto di metodologie meccaniche e chimiche.

### **Metodi meccanici.**

Si basano sull'asportazione manuale, coadiuvata da mezzi meccanici, delle strutture biologiche. Inoltre per permettere una disinfezione più prolungata nel tempo, cioè affinché non si verifichi una ricrescita nel giro di poche settimane, bisognerà adottare congiuntamente anche composti chimici ad azione biocida verso i biodeteriogeni.

Il biocida deve essere diluito al momento dell'uso e, nel nostro caso, può essere applicato mediante spruzzo ( si usano spruzzatori del tipo impiegato nel giardinaggio). L'irrorazione con il biocida si esegue procedendo dall'alto verso il basso, con andamento orizzontale.

All'eliminazione degli arbusti, seguirà quella dei licheni e dei microrganismi che invadono la muratura stessa. Prima di parlare di queste fasi serve anticiparne un'altra.

Una delle operazioni previste nella proposta di restauro è l'asportazione degli strati residui d'intonaco. Il recupero dello strato di rinzaffo avrebbe sviluppato nuove problematiche: in primo luogo, visto che non tutta la superficie è ancora dotata di rinzaffo, in alcuni punti ci sarebbe stata la vicinanza tra un nuovo e un vecchio rinzaffo; inoltre, in alcuni punti, lo strato è rimasto a contatto dell'aria per diversi anni e quindi ha direttamente assorbito acqua, umidità, e microrganismi. Quindi onde evitare sia problematiche legate alla difficile convivenza di due intonaci diversi, sia un intervento che non assicuri una buona riuscita, si rende necessario ricostruire totalmente l'intonaco.

**La rimozione dello strato d'intonaco ha una conseguenza immediata e importantissima per la fase di restauro, cioè quella di portare via con sé gran parte del degrado: patine biologiche, croste secche, depositi superficiali, macchie, efflorescenze; per cui l'eliminazione dell'intonaco semplificherebbe molto le operazioni di pulitura.**

Anche nelle parti in cui da tempo l'intonaco è distaccato hanno avuto modo di formarsi quei fenomeni di degrado appena elencati, in questi casi quindi gli interventi di pulitura saranno ugualmente necessari.

### **Operazioni di pulitura.**

Scopo della pulitura, dal punto di vista della conservazione, è la rimozione di quanto è dannoso per il materiale lapideo: sali solubili, incrostazioni scarsamente solubili o insolubili, stratificazioni di materiali vari applicati intenzionalmente e non idonei o non più funzionali, vegetazione infestante, deiezioni animali, ecc., e a questo deve limitarsi, rispettando non solo policromie e patine naturali, ma anche lo strato più superficiale del materiale lapideo.

La pulitura presenta problemi tecnici da affrontare con estrema cautela, in quanto richiede una serie di azioni meccaniche e/o chimiche che comportano un certo margine di rischio per la superficie del manufatto. Essa non deve produrre corrosioni e deve comunque limitare al massimo soluzioni di continuità sulla superficie del materiale lapideo;

infatti, la presenza di micro-fratture e asperità facilita la penetrazione dell'acqua e l'accumulo di polveri contenenti sostanze aggressive.

La scelta del metodo da impiegare deve essere basata sulla natura delle sostanze da asportare, sul tipo di superficie da pulire (piana o rilevata, più o meno deteriorata), nonché sulla estensione di tale superficie. La scelta deve privilegiare quei metodi che possono essere controllati dall'operatore ed arrestati quando ritenuto opportuno. La pulitura può essere la prima operazione solo nel caso di materiali sostanzialmente compatti, in quanto potrebbe provocare perdita di materiale se effettuata su materiali in avanzato stato di deterioramento, o dotati di scarsa coesione fin dall'origine.

### **Eliminazione di microrganismi e licheni.**

Nel caso di patine, pellicole e incrostazioni dovute allo sviluppo di microrganismi o di licheni si può usare per la rimozione spatole, raschietti o strumenti simili, quando lo stato di conservazione del substrato lo consenta.

Queste operazioni sono analoghe a quelle eseguite per una pulitura meccanica di incrostazioni calcaree, croste nere, ecc.. Non viene esercitata quindi un'azione biocida diretta: il trattamento tende a rimuovere, nella maniera più completa possibile, la biomassa presente o quanto sovrapposto alle superfici. L'efficacia dell'intervento non è quasi mai totale, data la difficoltà di una rimozione completa delle strutture biologiche che spesso penetrano nel substrato.

Il rischio di provocare abrasioni o lesioni sulle superfici può rappresentare una controindicazione per l'impiego di questi metodi: molto dipende dalla manualità dell'operatore che deve essere un tecnico specializzato del settore.

Nel caso della segheria di Vignola, essendosi formata in alcuni punti una notevole biomassa, può essere opportuno procedere ad una prima asportazione meccanica che rimuova gran parte del materiale presente, abbinando poi l'uso di metodi chimici ad azione biocida.

Il biocida sarà utilizzato a spruzzo in tutte le pareti interne ed esterne; ad impacco solo nei punti in cui i microrganismi hanno attaccato

direttamente la muratura spoglia d'intonaco. L'impacco è un metodo utile quando i biodeteriogeni formano patine o croste molto aderenti al substrato per la cui eliminazione è necessario un contatto prolungato con il biocida. A tale scopo si possono utilizzare diversi materiali (polpa di carta, carta di riso, carbossimetilcellulosa) imbevuti del biocida. L'impacco viene applicato su una superficie limitata e coperto con un foglio di politene sigillato ai bordi in modo da evitare l'evaporazione del solvente.

Trascorso il tempo necessario affinché il biocida espliciti la sua azione, e verificata l'efficacia del trattamento, dovranno essere eseguite le seguenti operazioni:

1- Rimozione dei residui di biomassa eventualmente presenti. È importante eseguire tale operazione in modo da non lasciare sul substrato residui di colonizzazioni biologiche che potrebbero favorire lo sviluppo di microflora eterotrofa.

2- **Lavaggio con acqua deionizzata.** I residui dei prodotti utilizzati per il trattamento devono essere rimossi poiché, se lasciati sul manufatto, potrebbero andare incontro a reazioni secondarie non controllabili. Questa seconda operazione può essere evitata se la superficie verrà "lavata" con un'acqua a spruzzo a bassa pressione, prevista nelle operazioni successive.

Nel caso di superfici non scolpite e considerevolmente estese, come quelle della segheria in esame, l'impiego di alcuni metodi di recupero risulterebbe di più difficile realizzazione per i tempi di lavorazione molto lunghi e per gli alti costi consequenziali.

Onde evitare l'uso di metodi inopportuni rispetto al manufatto edilizio, sarebbe il caso di impiegare, per la pulitura, procedimenti più semplici ed economici, quali l'acqua a spruzzo a bassa pressione (max 2,5-3 atm) e le sabbiature a bassa pressione (max 2,5-3 atm) con polveri a granulometria <0,15 mm e di durezza confrontabile con quella dei minerali costituenti il materiale lapideo da pulire (e che dunque devono essere noti).

Va comunque rispettata l'esigenza di minimizzare il danno che la pulitura può provocare.

### **Casi particolari.**

Le macchie di ruggine vanno eliminate usando soluzioni acquose di sostanze complessanti che hanno la proprietà di “legare” il prodotto da eliminare formando composti solubili. Per la loro rimozione può essere usata una soluzione acquosa di fluoruro di ammonio a pH neutro.

Tuttavia va ricordato che le sostanze complessanti possono interagire non solo con i composti estranei al materiale lapideo, ma anche con lo stesso supporto lapideo (composti di calcio). Il loro impiego va quindi attentamente controllato da parte dell'operatore. Inoltre, l'applicazione di tutti i prodotti indicati deve essere seguita da un accurato lavaggio con acqua.

### **Pulitura degli elementi in marmo**

Le mensole all'interno dell'edificio ( su cui appoggiavano travi di sostegno ai macchinari ) e quelle che fungono da davanzali alle finestre, sono elementi in marmo sui quali possono essere usati operazioni di pulitura particolari: metodi di precisione, più delicati e dispendiosi di quelli usati per il resto della muratura. Sono comunque permessi soltanto quei metodi che, per il tipo di utensile e per la forza impiegati, permettono di intervenire su aree molto limitate e con effetti piuttosto lenti, in modo da consentire all'operatore il controllo del risultato di pulitura.

I processi meccanici che rispondono a tali requisiti sono: la microsabbatura di precisione, la microsmerigliatura con trapani.

Le soluzioni o sospensioni acquose ad azione solvente e/o complessate: Verranno usate per completare l'operazione di pulitura delle cornici in mattoni di porte e finestre, che nel progetto di riuso si lasceranno a vista.: il pH di queste sostanze non deve essere superiore a 0,8 e non deve essere inferiore a 5,5, escludendo gli acidi e le basi forti.

Deve essere anche evitato l'uso di sostanze che possono provocare la formazione di sali solubili residui alla fine dell'applicazione. Qualora tali sostanze siano assolutamente indispensabili a risolvere un problema

di pulitura, ne va curata la completa rimozione al termine del trattamento.

La modalità di applicazione (tempo di contatto, asportazione del formulato, lavaggio finale con acqua deionizzata) devono essere tali da non intaccare il materiale lapideo; ciò va verificato con prove preliminari in cantiere.

Nel caso di alterazioni biologiche, i biocidi specifici, scelti in base alla natura dei biodeteriogeni da eliminare, possono essere aggiunti direttamente all'acqua deionizzata o alle soluzioni o sospensioni acquose.

### **Efflorescenze saline su mattoni.**

Per riuscire a eliminare questi depositi calcarei e salini è necessario ricorrere a sistemi più drastici come impacchi a ph debolmente acido e scalpellatura. Estrema cura va posta nel graduarne per quanto possibile l'azione e nell'arrestarla quando lo spessore dell'incrostazione sia stato convenientemente ridotto.

### **Operazioni di consolidamento superficiale.**

Le operazioni di consolidamento si dividono in tre fasi distintive: Incollaggi; Stucature; Consolidamento.

Gli interventi di incollaggio e stuccatura hanno lo scopo di riempire le discontinuità macroscopiche presenti nel materiale e di far riaderire frammenti consistenti parzialmente o totalmente distaccati. Si cerca in tal modo di ricostruire, per quanto possibile, una superficie uniforme e meno previa all'acqua, agli agenti chimici e al particolato atmosferico.

### **Operazione di incollaggio.**

Può essere eseguita con l'inserimento all'interno della muratura di perni. Le caratteristiche ottimali dei perni sono: buona stabilità chimica e coefficiente di dilatazione termica lineare il più possibile simile a quello del materiale da ricongiungere. Il tipo e la profilatura dei perni devono essere tali da conciliare buona adesione con facilità di rimozione. Si sottolinea che va assolutamente evitato l'uso di metalli

facilmente ossidabili come l'acciaio al carbonio (ferro), il rame e le sue leghe. Si consiglia l'uso di materiali più stabili quali gli acciai inossidabili speciali, ad esempio quelli elencati nella tabella SIAS (società italiana acciai speciali).

### **Stuccature.**

Le stuccature hanno lo scopo di riempire fessure, fratture, nonché eventuali discontinuità dopo l'inserzione dei perni. È importante che il lavoro di stuccatura non si limiti al riempimento delle lacune di maggiore entità, ma venga scrupolosamente esteso anche alle fessure di dimensioni più ridotte, in quanto potrebbero facilitare la penetrazione dell'acqua.

La scelta del tipo di stuccatura più adatta ad ogni singolo caso va fatta tenendo presente l'opportunità che l'impasto da impiegare sia abbastanza simile al materiale da stuccare, almeno per quanto riguarda la porosità, la capacità di assorbire acqua, la resistenza meccanica, la resistenza alla luce e la dilatazione termica, oltre naturalmente alle caratteristiche ottiche.

Per le stuccature si utilizzano normalmente malte il cui legante è costituito da calce aerea o idraulica ( purché a basso tenore di alcali ) ed il cui aggregato può essere di diversa natura. Nel nostro caso verrà quindi utilizzata malta aerea.

Il tipo di aggregato e la sua granulometria vanno scelti di volta in volta in funzione delle caratteristiche del materiale da trattare.

Si ricorda che stuccare in sottolivello di qualche millimetro, rispetto alla superficie esterna, come viene normalmente fatto, non presenta generalmente controindicazioni dal punto di vista conservativo. Le stuccature possono essere consolidate assieme al materiale al quale sono applicate.

### **Consolidamento.**

Per trattamento di consolidamento si intende l'impregnazione con un prodotto che, penetrando in profondità, migliori la coesione del

materiale alterato e l'adesione fra questo e il substrato sano. Come risultato si avrà una maggiore resistenza ai processi di alterazione.

Il consolidamento della pietra può essere effettuato con prodotti sia inorganici che organici (polimeri). Ciascuna delle due categorie presenta vantaggi e svantaggi. Ad esempio i consolidanti organici, dal canto loro, pur alterandosi più facilmente, sono in genere più elastici e presentano maggiore potere adesivo. Il prodotto consolidante deve comunque rispondere ad alcune esigenze fondamentali quali: non provocare la formazione di sottoprodotti secondari dannosi; venire uniformemente assorbito dalla pietra e raggiungere tutto il materiale alterato, collegandolo alla pietra sana più interna; presentare un coefficiente di dilatazione termica non molto difforme da quello della pietra (per non essere causa di fessurazioni o sgretolamenti nel caso che non abbia buone caratteristiche elastometriche); se si tratta di prodotto idrorepellente, non deve rendere il materiale lapideo completamente impermeabile al vapore d'acqua; conservare l'aspetto esteriore della pietra evitando fenomeni di scurimento o di imbiancamento, formazione di macchie o di pellicole lucide ed ingiallimento sotto l'azione della luce.

E' da tenere presente che, a tutt'oggi, non esistono consolidanti praticamente o completamente reversibili e che comunque si introduce nella pietra un materiale che ha in genere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche diverse da quelle della pietra stessa. È quindi opportuno intervenire solo quando la pietra verte in uno stato di disgregazione così avanzata da pregiudicare la conservazione e la stabilità del manufatto.

Per quanto riguarda le modalità di impiego, l'applicazione a spruzzo difficilmente permette di ottenere un'impregnazione in profondità; è quindi preferibile l'applicazione ad impacco o a percolazione proseguita fino a rifiuto e preceduta ed alternata con applicazioni di solo solvente (nel caso di consolidanti organici sciolti in solvente).

Il consolidamento va effettuato su materiale lapideo asciutto e in condizioni climatiche favorevoli, relativamente al tipo di consolidante da impiegare.

Il consolidante da utilizzare nella muratura (arenarie, laterizi, mattoni crudi, marmi, calcari) del manufatto in esame è una miscela di silicati di etile ed alchil-alcossi-siliani.

Si ricorda che l'efficacia di un trattamento è fortemente condizionata dalle modalità di applicazione .

## Operazioni di protezione e prevenzione.

L'intervento di protezione ha lo scopo di rallentare i processi di deterioramento. Esso può essere eseguito o servendosi di particolari prodotti chimici o, quando possibile, agendo sull'ambiente esterno.

L'operazione è consigliata ogni qualvolta sia individuato che i fattori più importanti di alterazione agiscono prevalentemente sulla superficie esterna del materiale (per esempio: azione di inquinanti, condensazione di umidità, azione chimico-meccanica delle piogge), e in particolare dove l'intervento diretto sull'ambiente non sia possibile o sia ritenuto insufficiente.

Anche nel caso di protettivi non è possibile stabilire quale prodotto sia migliore degli altri in assoluto; la scelta di quello più adatto al singolo caso va effettuata in funzione della natura del materiale, del suo stato di conservazione (dopo gli eventuali trattamenti di pulitura, stuccatura e consolidamento) e delle condizioni ambientali.

L'eventuale modifica delle proprietà ottico-cromatiche può essere sensibilmente attenuata con opportuni accorgimenti quali: la ricerca del giusto grado di diluizione, l'aggiunta di opacizzanti a base di silice, una blanda spazzolatura del materiale in tiro, un trattamento finale con solo solvente.

Nel caso di materiali ad alta porosità, l'efficacia del trattamento protettivo è tanto maggiore quanto più penetra in profondità.

## Operazioni di ripristino e nuove realizzazioni.

Le operazioni di ripristino riguardano:

- l'intonaco
- la rete di raccoglimento e smaltimento dell'acqua meteorica.
- Sostituzioni di elementi della copertura (travicelli, pianelle, marsigliesi)

Le operazioni di realizzazioni ex novo:

- Pavimentazione
- Scannafosso
- Impermeabilizzazione e ricomposizione della copertura.

**Nelle proposte d'intervento si è resa necessaria l'eliminazione di quello che è uno dei fattori di maggior produzione di degrado: l'umidità.**

Non è sufficiente un singolo intervento per eliminare le alterazioni prodotte dall'umidità.

La propagazione di questo tipo di fenomeni di degrado può aver origine da:

- Difetti delle coperture
- Difetti delle reti verticali e orizzontali di smaltimento delle acque.
- Risalita dell'acqua dalle murature.
- Condensazione sulle pareti fredde.
- Presenza di materiali igroscopici.

Per eliminare definitivamente il problema dell'umidità di infiltrazione, dopo il restauro dell'edificio, si assicurerà una manutenzione ordinaria e straordinaria di gronde, pluviali e fognature. È importante che queste operazioni di monitoraggio prendano in considerazione anche i risalti di modanature, parapetti di finestre, balconi, che sono anche questi punti di ingresso delle acque.

**Eliminazione gli effetti prodotti dall'umidità di risalita e dalle acque disperse in superficie.**

Nella maggioranza dei casi, le acque di risalita non provengono da falde ma sono dovute ad acque disperse in superficie.

Nel nostro caso questi effetti sono prodotti da accumulazioni accidentali di acque meteoriche (pozzanghere), che si formano in prossimità della muratura sia all'esterno che all'interno: infatti anche le murature all'interno della segheria sono in contatto col terreno, in quanto manca una pavimentazione .

#### **Eliminazione dell'umidità da condensazione.**

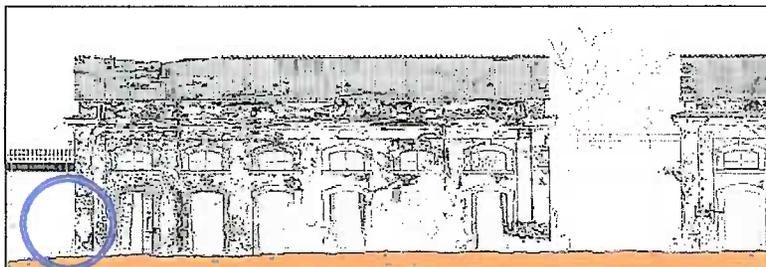
Può essere efficace una generica maggior ventilazione naturale o artificiale, o meglio l'immissione di aria secca con il funzionamento addizionale degli impianti di riscaldamento, in particolare nelle stagioni intermedie.

Per il problema dell'intonaco, visto che non è stato possibile conservare quello originale, si vorrebbe tener conto nella scelta dei materiali e delle tecniche costruttive dell'originale: intonacatura avverrà dopo che i muri saranno completamente asciutti, perché l'intonaco alla superficie indurisce molto presto e allora richiuderebbe l'umidità interna del muro togliendole l'azione dell'aria esterna; in questo modo la presa della malta del muro diventerebbe lunghissima dando origine alle macchie d'umido, dannose al muro stesso.

Per questo si prestano meglio per l'esecuzione di questi lavori i mesi

**SCHEDA  
TECNICHE**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



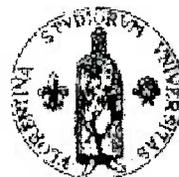
LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



SCHEDA N°

1



**OGGETTO:**

PARASTA ANGOLARE,  
ALL'ESTERNO DEL  
MANUFATTO EDILIZIO.

**MATERIALI:**

MURATURA MISTA  
COMPOSTA DA PIETRE  
ARENARIE, MATTONI,  
BLOCCHETTI IN  
MARMO, IL TUTTO  
LEGATO CON  
ABBONDANTE MALTA.  
L'ATTENZIONE DELLA  
SCHEDA, PERÒ, È  
PRINCIPALMENTE  
RIVOLTA ALLO  
INTONACO DI MALTA  
DI CALCE

(PROBABILMENTE  
AEREA).

SONO VISIBILI I TRE  
STRATI CHE  
COMPONGONO  
L'INTONACO:  
RINZAFFO; ARRIGGIO;  
FINITURA.

**TECNICHE**

**COSTRUTTIVE:**

LA MODALITÀ  
D'ESECUZIONE  
DELL'INTONACO A  
BASE DI MALTA DI  
CALCE È PIUTTOSTO  
COMPLESSA.  
FRA LE OPERAZIONI DI  
ESECUZIONE DI UN

INTONACO, ESEGUITO A REGOLA D'ARTE COME QUESTO, SI DISTINGUONO:

- LA STUCCATURA DELLE COMMESSURE
- LA RABBOCCATURA
- IL RINZAFFO
- L'ARRICCIATURA
- LA FINITURA
- LA TINTEGGIATURA

PER STUCCATURA DELLE COMMESSURE SI INTENDE L'APPLICAZIONE DI MALTA DI CALCE SOLO NEI GIUNTI TRA LE PIETRE DELLA MURATURA.

LA RABBOCCATURA È DENOMINATA L'OPERAZIONE IN CUI SI PROCEDE PREVENTIVAMENTE AD UN CONGUAGLIAMENTO DELLA SUPERFICIE CON MALTA CHE NE RIEMPIE LE RIENTRANZE.

IL RINZAFFO, O STRATO DI ANCORAGGIO O DI ADERENZA, È IL PRIMO STRATO "UFFICIALE" DELL'INTONACATURA DELLA PARETE, HA IL COMPITO DI LEGARE MECCANICAMENTE IL SUPPORTO AGLI STRATI SUCCESSIVI, PRESENTA UNA PROPORZIONE MALTA/INERTE DI 1:3, LA GRANULOMETRIA DELLA SABBIA È GROSSA, INFINE PRESENTA UNO SPESSORE DI 10-15 MM. SI APPLICA CON L'AUTO DELLA CAZZUOLA, CON LA QUALE LO SI SPIANA ALLA MEGLIO IN MODO CHE RESTI RUVIDO.

L'ARRICCIO, O STRATO DI LIVELLAMENTO, È IL SECONDO STRATO ED HA IL COMPITO DI CORREGGERE LE IMPERFEZIONI DEL RINZAFFO (PLANARITÀ) E DI OPPORRE UNA BUONA RESISTENZA ALLA PIOGGIA. SEMPRE NEL NOSTRO CASO È COSTITUITO DA MALTA DI CALCE, PIÙ GRASSA DI QUELLA DEL RINZAFFO, CON UNA PROPORZIONE DI 1:2 FRA LEGANTE ED INERTE, GRANULOMETRIA DELLA SABBIA È MEDIA, INFINE IL SUO SPESSORE È DI CIRCA 5-6 MM.

LA FINITURA, O VELO, RAPPRESENTA L'ULTIMO STRATO COSTITUENTE L'INTONACO, HA IL COMPITO DI DEFINIRE CON LA SUA TESSITURA L'ASPETTO ESTERNO DELL'EDIFICIO. IN QUESTO CASO È COSTITUITO DA MALTA DI CALCE GRASSA CON INERTI FINI E FINISSIMI, IL SUO SPESSORE È DI CIRCA 2MM.

LO STRATO DI FINITURA È QUELLO CHE VERRÀ LISCIATO, PER ESEGUIRE QUESTA OPERAZIONE SI ADOPERANO L'APPIANATOIA O REGOLO E LO SPARVIERE DI LEGNO, CON LA FORMA DA FERRO DA STIRO. PER ESEGUIRE L'INTONACO COMPLETAMENTE LISCIO, LA SUPERFICIE INFERIORE DELLO SPARVIERE È FODERATA DI FELTRO BIANCO. PERCHÉ LA SUPERFICIE RIESCA PIANA SI APPLICANO PRIMA, A MANO LIBERA, DELLE GUIDE, O POSTE, CIOÈ DELLE STRISCE VERTICALI DI MALTA, CON L'AUTO DEL REGOLO E DEL FILO A PIOMBO, DISTANTI TRA LORO 1-2 M, IN MODO CHE ESSE CON LE LORO SUPERFICIE SI TROVINO NEL PIANO CHE SI VUOLE OTTENERE. POI SI INTONACO PURE I CAMPI INTERMEDI.

LA TINTEGGIATURA È UN VELO MOLTO SOTTILE CON IL COMPITO DI DOTARE L'EDIFICIO DEL COLORE, CHE NEL NOSTRO CASO È OGRA POICHÉ FORMATO DA UNA MISCELA DI TERRA E CALCE.

LO SPESSORE MEDIO TOTALE DI QUEST'INTONACO È DI CIRCA 3,5 CM E IN PARTICOLARE LO STRATO PIÙ SPESSO È QUELLO DEL RINZAFFO. CIÒ È DOVUTO SOPRATTUTTO ALLA PRESENZA DELLA RABBOCCATURA. D'ALTRA PARTE LA RUVIDEZZA E LA SCABROSITÀ, CHE AUMENTANO LA CAPACITÀ DI PRESA DEL RINZAFFO, SONO TRA LE RAGIONI PER CUI QUESTO STRATO È, IN PERCENTUALE, QUELLO PIÙ RESISTENTE (E DI CONSEGUENZA PIÙ PRESENTE NEL NOSTRO MANUFATTO EDILIZIO) TRA I TRE CHE COMPONGONO L'INTONACO.

PER UNA BUONA RUSCITA E DURATA DELL'INTONACO È INNANZITUTTO IMPORTANTE CHE GLI ELEMENTI DI COMPOSIZIONE SIANO DI BUONA QUALITÀ E LA LORO MISCELA GIUSTA NEL DOSAGGIO. È NECESSARIO CHE I MURI DA INTONACARE, SE DI NUOVA COSTRUZIONE, SIANO PERFETTAMENTE ASCIUGATI, ONDE EVITARE CHE L'UMIDITÀ INTERNA DELLA PARETE, "IMPERMEABILIZZATA" DALLO STRATO D'INTONACO, RALLENTI LA PRESA DELLA MALTA DEL MURO E DIA ORIGINE ALLE MACCHIE D'UMIDO, MOLTO DANNOSE AL MURO STESSO.

SEMPRE CON L'INTENTO DI EVITARE FENOMENI DI DEGRADO CONCERNENTI L'UMIDITÀ, SAREBBE MEGLIO ESEGUIRE QUESTE OPERAZIONI NEI MESI ESTIVI.

CONSIDERANDO GLI ANNI DI QUESTA SEGHERIA E, SOPRATTUTTO, OSSERVANDO L'INTONACO RESIDUO, SI PUÒ CONCLUDERE CHE L'OPERAZIONE D'INTONACATURA VENNE ESEGUITA A REGOLA D'ARTE E UTILIZZANDO MATERIALI DI BUONA QUALITÀ.

**ANALISI DEL DEGRADO:** IL FENOMENO DI DEGRADO MESSO IN EVIDENZA DALL'IMMAGINE È QUELLO DEL DISTACCO TOTALE O PARZIALE DEGLI STRATI D'INTONACO, CIOÈ TRA DI LORO (PARZIALE), O RISPETTO AL SUPPORTO (TOTALE).

IL FENOMENO DEL DISTACCO È SOLITAMENTE PRECEDUTO DA QUELLO DI RIGONFIAMENTO, ED ENTRAMBI SONO DETERMINATI DALL'ACQUA E DALL'UMIDITÀ: L'ACQUA ASSORBITA DALLA MURATURA, EVAPORANDO GENERA IL SOLLEVAMENTO DEGLI STRATI D'INTONACO A CUI SEGUE LA CADUTA DEGLI STESSI.

IN QUESTA STESSA IMMAGINE SI PUÒ NOTARE ANCHE UN ALTRO, SE NON IL PRIMO, FENOMENO DI DEGRADO CHE INTERESSA L'INTONACO: LA PERDITA DI TINTEGGIATURA. TUTTA LA PARASTA ANGOLARE HA PERSO IL VELO PITTORICO COLOR OGRA, PROBABILE EFFETTO DEL DILAVAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE. SEGUONO RISPETTIVAMENTE LO STATO DI ARRICCIO E DI RINZAFFO, CHE NON SONO IMMEDIATAMENTE RICONOSCIBILI COME LO STRATO DI FINITURA, MA CHE COMUNQUE SI DISTINGUONO GRAZIE ALLA LORO GRANULOMETRIA, INFATTI GLI INERTI DELL'ARRICCIO SONO MOLTO PIÙ PICCOLI DI QUELLI DEL RINZAFFO, DI CONSEGUENZA, QUEST'ULTIMO STRATO HA UN ASPETTO MOLTO PIÙ SCABRO.

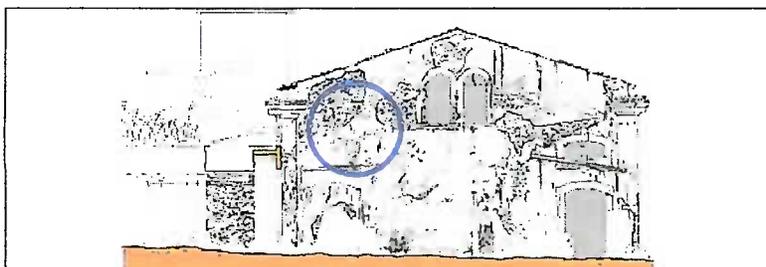
**PROPOSTA DI INTERVENTO:** IL FATTO DI AVER SOSTENUTO CHE QUEST'INTONACO, OLTRE AD ESSERE COMPOSTO DA BUONI MATERIALI, VENNE REALIZZATO A REGOLA D'ARTE, NON SIGNIFICA COMUNQUE CHE SIA POSSIBILE CONSOLIDARLO E COLMARNE LE LAGUNE PER RENDERLO NUOVAMENTE FUNZIONALE. ESSO VANTA PIÙ DI UN SECOLO DI VITA DI CUI ALMENO VENTI ANNI DI COMPLETO ABBANDONO, FATTO CHE HA PERMESSO L'INSORGERE DI ATTI VANDALICI E DISTRUTTIVI (SCRITTE; SCALFITTURE; PROLIFICAZIONE INCONTROLLATA DI MUFFE, MUSCHI, VEGETAZIONE INFESTANTE). L'INGURIA E L'ABBANDONO HANNO ACCELERATO QUALSIASI FENOMENO DI DEGRADO.

TRA GLI STRATI D'INTONACO, QUINDI, SI È INNESTATO UN PROCESSO DI DEGRADO CHE È DIVENTATO IRREVERSIBILE NEL MOMENTO IN CUI, CON LA CADUTA DEGLI STRATI PIÙ ESTERNI, ANCHE QUELLI SOTTOSTANTI VENIVANO AGGREDITI DAGLI AGENTI ATMOSFERICI, DALL'UMIDITÀ, DALL'INQUINAMENTO E DALL'AGGRESSIONE BIOLOGICA. COSÌ L'INTONACO DI QUESTA SEGHERIA, SEBBENE PRESENTI ALCUNI PUNTI, ALL'ESTERNO E ALL'INTERNO, IN CUI È ANCORA QUASI INTATTO, NELLA MAGGIOR PARTE DEI CASI SI È DISTACCATO COMPLETAMENTE O PARZIALMENTE. DI CONSEGUENZA PARLARE DI RIUTILIZZO È IMPENSABILE, PERCHÉ AL CONTRARIO SI CREEREBBE LA SITUAZIONE DI FAR COESISTERE DUE TIPI DIVERSI DI INTONACO, CIOÈ ACCOSTARE MATERIALI DIVERSI, COSA CHE POTREBBE SVILUPPARE NUOVI FENOMENI DI DEGRADO O ANCHE SEMPLICEMENTE INESTETISMI.

ABBANDONANDO LE CONSIDERAZIONI GENERALI, ANALIZZIAMO GLI INTERVENTI PREVISTI DAL SOGGETTO DELLA SCHEDA:

1. **RIMOZIONE** DEGLI STRATI RESIDUI: ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI.
2. **PULITURA:** PER ELIMINARE COMPLETAMENTE ANCHE I RESIDUI PIÙ PICCOLI D'INTONACO È NECESSARIO ADOTTARE METODI DI MAGGIORE PRECISIONE, SENZA SCORDARE CHE TECNOLOGIE SOPISTICATE SONO RISERVATE A MANUFATTI DI NOTEVOLE PREGIO ARTISTICO E ARCHITETTONICO. SI È PENSATO QUINDI DI RICORRERE A SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA. INOLTRE PRIMA DI APPRESTARSI ALLA RICOSTRUZIONE DELL'INTONACO, COMPIERE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE ANCHE LE POLVERI DELLE OPERAZIONI PRECEDENTI.
3. **RIPRISTINO:** LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (CIOÈ NUOVAMENTE MALTA DI CALCE IDRAULICA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRIGOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

2

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** INTEGRAZIONE RECENTE DI MALTA CEMENTIZIA.

**MATERIALI:** MALTA CEMENTIZIA APPLICATA DIRETTAMENTE SUL SUPPORTO MURARIO.

**TECNICHE COSTRUTTIVE:** APPLICAZIONE DI UNO STRATO DI MALTA CEMENTIZIA SULLA PARETE SENZA L'INSERZIONE DI ULTERIORI STRATI.

**ANALISI DEL DEGRADO:** SI TRATTA DI UN NON APPROPRIATO INTERVENTO CONSERVATIVO, NON SOLO PERCHÉ È STATO USATO UN MATERIALE

NON CONSONO ALLA ORIGINARIA FATTURA DELL'EDIFICIO (CIOÈ LA MALTA CEMENTIZIA AL POSTO DELLA MALTA DI CALCE) MA SOPRATTUTTO PERCHÉ È STATA APPLICATA DIRETTAMENTE SULLA MURATURA (CHE PRESENTAVA IL FENOMENO DI DISTACCO TOTALE DEI TRE STRATI FORMANTI L'INTONACO) SENZA L'INSERIMENTO DI ALCUN ALTRO STRATO DI SUPPORTO.

QUESTO STRATO DI MALTA CEMENTIZIA, INOLTRE, PRESENTA UNA CURIOSA ALTERAZIONE DELLA TESSITURA, FENOMENO CHE SI È MANIFESTATO SIA A CAUSA DELL'AGGRESSIONE DEGLI AGENTI ATMOSFERICI SIA SOPRATTUTTO IN CONSEGUENZA ALLA POSIZIONE SFAVOREVOLE DI QUESTA PARTE DELL'EDIFICIO, QUALE QUELLA A RIDOSSO DELLA GORA (STRUTTURA CHE FORNIVA ACQUA ALLA SEGHERIA). COSÌ QUESTO STRATO DI MALTA CEMENTIZIA, ESSENDO MOLTO PIÙ RESISTENTE DI QUELLO DI CALCE, NON SI È DISTAGGATO DALLA PARETE MA PRESENTA UNA PARTICOLARISSIMA MORFOLOGIA CHE SEMBRA RICALCARE IL DISEGNO DELLE PIETRE DELLA MURATURA CON CUI È A CONTATTO DIRETTO.

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** L'INTERVENTO SI ESPLICA NELLA ASPORTAZIONE MANUALE, COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI, DI QUESTA INTEGRAZIONE DI MALTA CEMENTIZIA.

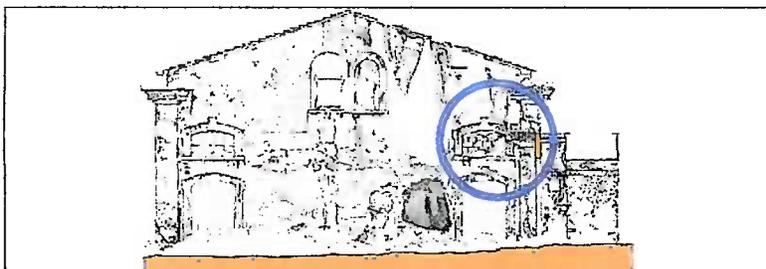
**PULITURA:** PER COMPIERE UNA PULITURA PIÙ APPROFONDITA DELLA PARETE MURARIA (DA CUI VERRÀ RIMOSSO ANCHE L'INTONACO ORIGINARIO VEDI SCHEDA N°1) È NECESSARIO RICORRERE PRIMA AD UNA SABBIATURA A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) CON POLVERI A GRANULOMETRIA < 0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI LA MURATURA, POI AD UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM).

**RIPRISTINO:** A QUESTE OPERAZIONI SEGUIREBBE IL RIPRISTINO DELL'INTONACO CON MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE IL PIÙ POSSIBILE SIMILI A QUELLI ORIGINARI.

UN FATTO IMPORTANTE DA CAPIRE È CHE LO STESSO RIFACIMENTO DELL'INTONACO NON BASTEREBBE AD ASSICURARE DA SOLO LA SOLUZIONE DEGLI EFFETTI DEL DEGRADO DI QUESTE PORZIONI DI EDIFICIO, SE CONTEMPORANEAMENTE NON VENISSE RISOLTE ANCHE LE PROBLEMATICHE LEGATE ALLA FORTE PRESENZA DI UMIDITÀ (RELATIVA E SPECIFICA; CONTATTO CON GORA). IN QUESTO CASO PARTICOLARE INFATTI LA GORA RAPPRESENTA UNA FONTE INESAURIBILE DI FENOMENI DI DEGRADO LEGATI ALLA PRESENZA DELL'ACQUA E ALLA CONSEGUENTE UMIDITÀ. INFATTI SEBBENE QUESTA NON VENGA PIÙ UTILIZZATA, NEI MESI INVERNALI E IN GENERALE IN TUTTE LE OCCASIONI DI PIOGGIA, RACCOGLIE L'ACQUA PIOVANA E LA TRASPORTA AUTOMATICAMENTE ALLA SEGHERIA POICHÉ DOTATA ANCORA D'INCLINAZIONE, QUINDI UN ABBONDANTE FLUSSO DI ACQUA SI RACCOGLIE NELLA SEGHERIA. BISOGNEREBBE REGOLARIZZARE IL METODO DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE DELLA GORA, PER EVITARE CHE CONTINUINO A RIVERSARSI ALL'INTERNO DELLA SEGHERIA. POTREBBERO ESSERE CREATE CANALIZZAZIONI SECONDARIE, SENZA TUTTAVIA DETURPARE LA STRUTTURA E L'IMMAGINE DI QUESTA STRUTTURA.

ORIGINE DEI FENOMENI DI DEGRADO	CONDIZIONI CHE FACILITANO IL DEGRADO	TIPI DI AZIONI	FATTORI CAUSALI SPECIFICI	SINTOMI
AGGRESSIONI ESTERNE	ESPOSIZIONE; CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	FISICO/CHIMICHE	AZIONI METEORICHE; CONDENSAZIONE; ACQUA RESIDUA; ASSORBIMENTO D'ACQUA	DISTACCHI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

**3**

**LUGLIO 2003**

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** TAMPONATURA DI UNA FINESTRA.

**MATERIALI:** TAMPONATURA IN MATTONI, CON RESIDUI D'INTONACO. IL DAVANZALE DELLA FINESTRA È IN MARMO, LA CORNICE IN MATTONI. È PRESENTE ANCHE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE.

**TECNICHE COSTRUTTIVE:** IN TUTTO MANUFATTO EDILIZIO SONO PRESENTI DIVERSE TIPOLOGIE DI TAMPONATURA, CHE SI DIFFERENZIANO PER LA MODALITÀ D'ESECUZIONE O PER I MATERIALI IMPIEGATI. INTERPRETANDO QUESTE DIFFERENZE SIAMO RIUSCITI A RICOSTRUIRNE L'ORDINE

CRONOLOGICO; AD ESEMPIO LE TAMPONATURE A FILO CON LA CORNICE SONO STATE, CON OGNI PROBABILITÀ, REALIZZATE DURANTE LA FASE D'ESECUZIONE DELLA SEGHERIA. PER NON VENIR MENO ALLA COMPOSIZIONE SIMMETRICA DELL'EDIFICIO, ASSIOMA DELL'ARCHITETTURA NEOCLASSICA, VENNERO UGUALMENTE REALIZZATI GLI INGOMBRI DELLE APERTURE, ANCHE NEL CASO IN CUI LA MURATURA NON DOVEVA ESSERE INTERROTTA.

ALTRE TAMPONATURE SONO COSTITUITE SEMPRE DA MATTONI MA DI TIPOLOGIA DIVERSA, O DA BLOCCHI DI CEMENTO.

I MATTONI, IN QUESTO CASO, VENNERO DISPOSTI DI PIATTO ED ERA A LORO APPLICATO UN SINGOLO STRATO D'INTONACO PIÙ IL VELO DI TINTEGGIATURA OGRA.

**ANALISI DEL DEGRADO:** L'ERRORE INTRINSECO DI QUESTA OPERAZIONE D'INTONACATURA CONSISTE NELL' AVER STESO LO STRATO DI FINITURA DIRETTAMENTE SUL SUPPORTO, QUINDI NELL' AVER ABBINATO DUE "MATERIALI" NON CONSONI. INFATTI GLI STRATI INTERMEDI (RINZAFFO E ARRICCIO) PRESENTANO UNA GRANULOMETRIA MAGGIORE CHE È QUELLA CHE CONSENTE ALL'INTONACO UNA PRESA ADEGUATA: IN PARTICOLARE IL RINZAFFO, QUELLO PIÙ "RUVIDO", ASSICURA L'ANCORAGGIO AL SUPPORTO; L'ARRICCIO, GRANULOMETRIA MINORE, OLTRE A LIVELLARE IL RINZAFFO HA IL COMPITO DI MEDIARE IL PASSAGGIO TRA IL RINZAFFO E LA FINITURA.

QUINDI LO STRATO DI FINITURA NON HA TRA I SUOI REQUISITI QUELLO DI FAR PRESA SUL SUPPORTO, COSA CHE HA PORTATO AD SUO UN REPENTINO DISTACCO.

LE PICCOLE PORZIONI RIMASTE, SONO TUTTAVIA RIGONFIATE E QUINDI PROSSIME AL DISTACCO.

OLTRE AD UNA SCELTA ESECUTIVA NON CORRETTA OPERATA DAI COSTRUTTORI, ESISTE IN PROSSIMITÀ DI QUESTO PUNTO UN'ALTRA FONTE NOTEVOLE DI DEGRADO, LA GORA (CIOÈ LA STRUTTURA CHE DOTAVA DI ACQUA LA SEGHERIA). SI PUÒ IMMAGINARE DI QUANTA UMIDITÀ FOSSE FORIERA, COSA CHE HA CONTRIBUITO NOTEVOLMENTE AL PROCESSO DI DETERIORAMENTO DI QUESTE PARTI DELL'EDIFICIO.

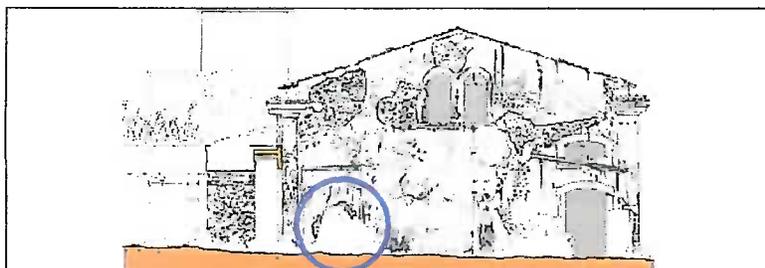
LA TAMPONATURA IN MATTONI DOPO IL DISTACCO DELLO STRATO D'INTONACO, CHE, COME SI È DETTO, NON DEVE ESSERSI VERIFICATO MOLTO DOPO LA SUA REALIZZAZIONE, RIMASE QUINDI SENZA L'UNICO STRATO PROTETTIVO DI CUI ERA DOTATA. È FORSE PER QUESTO CHE L'AGGRESSIONE DEGLI AGENTI ATMOSFERICI UNITA A TUTTI I FENOMENI DI DEGRADO PARALLELI ALLA PRESENZA DI UMIDITÀ, HANNO CAUSATO LA PERDITA DELLA MALTA FRA I GIUNTI DEI MATTONI.

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** ELIMINAZIONE DEL TAMPONAMENTO. IL PROGETTO PREVEDE IL PUNTO LUCE DELL'APERTURA.

ASPORTAZIONE MANUALE, COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI, DELLE STRUTTURE BIOLOGICHE E SPRUZZO DI SOSTANZE BIOCIDA CHE ASSICURINO UNA PROTEZIONE CONTRO LA RICRESCITA DI VEGETAZIONE INFESTANTE.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

4

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:**

GROSSA MANCANZA.

**MATERIALI:**

TAMPONATURA IN  
MATTONI CON  
RIVESTIMENTO IN  
MALTA CEMENTIZIA.

**TECNICHE**

**Costruttive:**

NASCOSTA DALLA  
VEGETAZIONE  
INFESTANTE E DA  
MACCHINARI  
ABBANDONATI, C' È  
UNA DI QUELLE  
TAMPONATURE, CHE  
SI SONO DEFINITE  
ORIGINARIE, CIOÈ  
RISALENTI ALL'EPOCA  
DI COSTRUZIONE  
DELLA SEGHERIA,  
PROVA NE È LA  
CORNICE A FILO DELLA  
MURATURA (VEDI  
SCHEDA N° 3).  
IL RIVESTIMENTO È DI  
MALTA CEMENTIZIA,  
DEFINITA ARCAICA PER  
DISTINGUERLA DA UN  
ALTRO TIPO.

**ANALISI DEL DEGRADO:** QUESTE INTEGRAZIONI, SUCCESSIVE ALLA REALIZZAZIONE DELL'EDIFICIO, DEFINITE MACRO INTEGRAZIONI DI MALTA CEMENTIZIA E SI RIFERISCONO AD ANTICHI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'INTONACO (CHE SI ERANO RESI NECESSARI A CAUSA DI UN PRECOCE DISTACCO DELL'INTONACO DI MALTA DI CALCE) ESEGUITI IN MANIERA SOMMARIA E NON RISPETTANDO L'USO DEL MATERIALE ORIGINARIO; TUTTO CIÒ METTE IN EVIDENZA LA SCARSA CONSIDERAZIONE IN CUI ERA TENUTA LA SEGHERIA DAI SUOI FRUITORI.

L'ESITO DI QUESTE OPERAZIONI È STATO UN NON APPROPRIATO INTERVENTO CONSERVATIVO, POICHÉ SONO STATI UTILIZZATI DEI MATERIALI E DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE NON CONSONI AGLI ORIGINARI.

PROBABILMENTE IL MOTIVO PER CUI È STATA UTILIZZATA MALTA CEMENTIZIA, ANZICHÉ DI CALCE, È PERCHÉ LA PRIMA PRESENTA REQUISITI DI MAGGIOR RESISTENZA MECCANICA, QUINDI DIFFICILMENTE SI SAREBBE RIPRESENTATO IL DISTACCO DALLA MURATURA; COSÌ FACENDO, I PROPRIETARI HANNO DIMOSTRATO DI TENER PIÙ IN CONSIDERAZIONE IL RISPARMIO CHE UN BUON INTERVENTO.

LA NOTEVOLE INCURIA NEI CONFRONTI DELLA SEGHERIA È DIMOSTRATA ANCHE DALLA GROSSA MANCANZA CHE HA PORTATO ALLA LUCE I MATTONI DELLA TAMPONATURA. QUESTA MANCANZA FU, SENZA DUBBIO, CONSEGUENZA DI UN GROSSO COLPO ACCIDENTALE (PROBABILMENTE UN COLPO SFERRATO DA UN ELEMENTO SFUGGITO AD UN MACCHINARIO).

IL COLPO OLTRE A PORTARE VIA UNA NOTEVOLE PARTE DELLA SUPERFICIE MURARIA, PROVOCÒ SULL'INTONACO DI MALTA CEMENTIZIA DELLE MICRO FESSURAZIONI (SCREPOLATURE VISIBILI DALL'IMMAGINE STESSA), SULLE QUALI SI SONO SUCCESSIVAMENTE PRODOTTE DELLE EFFLORESCENZE, CIOÈ SALI RESIDUI CONTENUTI NEI MATTONI, SCIOLTI DALL'ACQUA, HANNO TROVATO UNA STRADA DA PERCORRERE IN QUESTE FESSURE E SI SONO RESI MANIFESTI.

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** IN PRIMO LUOGO È NECESSARIO ELIMINARE LA VEGETAZIONE INFESTANTE DI TIPO ARBUSTIVO, MEDIANTE TAGLIAERBA E COMPLETARE QUEST'OPERAZIONE CON AZIONE CHIMICA CONTRO IL BIODETERIOGENI ATTRAVERSO LO SPRUZZO DI DISERBANTE.

ANCORA MEDIANTE MEZZI MECCANICI (MARTELLETTO PNEUMATICO) DELLO STRATO DI MALTA CEMENTIZIA (RIMOZIONE CHE INTERESSA TUTTO L'EDIFICIO).

VISTO CHE LA MANCANZA OLTRE AD ESSERE AMPIA È PIUTTOSTO PROFONDA, SAREBBE FUORI LUOGO PENSARE AD UNA STUCCATURA (OPERAZIONE CHE SECONDO IL LESSICO NQR.M.A.L. HA LO SCOPO DI RIEMPIRE FESSURE FRATTURE, MANCANZE E DISCONTINUITÀ DOPO L'INSERZIONE DEI PERNI (= CHE CORRISPONDONO ALLA FASE DI INCOLLAGGIO). LA COSA PIÙ SEMPLICE DA FARE È DEMOLIRE LA VECCHIA TAMPONATURA, IL CHE NON DOVREBBE ESSERE UNO STRESS PER LA MURATURA, VISTO CHE, PER SUA NATURA, LA TAMPONATURA NON INFLUISCE SULLA STRUTTURA PORTANTE. LA DEMOLIZIONE VERRÀ EFFETTUATA, SECONDO LA TECNICA CUCI-SCUCI, FINO ALL'ALTEZZA DI 80 CM (DA TERRA), POICHÉ IL PROGETTO DI RIUTILIZZO DELLA SEGHERIA PREVEDE IN QUEL PUNTO IL PORTALE APERTO.

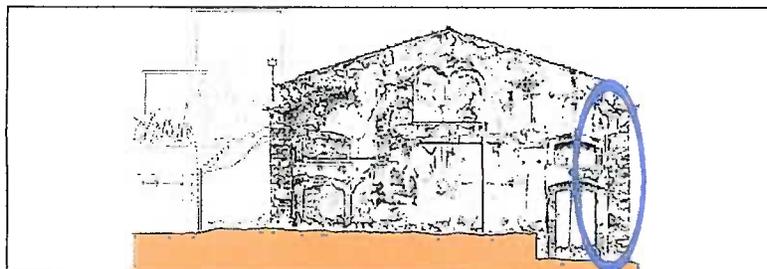
**PULITURA:** PER RIMUOVERE A FONDO LA MALTA CEMENTIZIA RICORRERE A SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA SIMILE A QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI LA MURATURA. LE CORNICI IN MATTONI RIMARRANNO A VISTA, QUINDI SI È PREVISTA PER LORO UN'ULTERIORE OPERAZIONE DI PULITURA CON SOLUZIONI O SOSPENSIONI ACQUOSE AD AZIONE SOLVENTE /O COMPLESSANTE. IL PH DI QUESTE SOSTANZE NON DEVE ESSERE SUPERIORE A 0,8 E NON DEVE ESSERE INFERIORE A 5,5, SONO QUINDI ESCLUSI GLI ACIDI E LE BASI FORTI, DEVE INOLTRE ESSERE EVITATO L'USO DI SOSTANZE CHE POSSONO PROVOCARE LA FORMAZIONE DI SALI SOLUBILI.

LE OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETERANNO MEDIANTE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CHE PULIRÀ LA SUPERFICIE DI POLVERI E SOLVENTI RESIDUI.

**RIPRISTINO:** DELL'INTONACO SU TUTTA LA SUPERFICIE, SECONDO MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE FEDELI AGLI ORIGINARI.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES

EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



SCHEDA N°

5



**OGGETTO :**

PARASTA ANGOLARE.

**MATERIALI:**

MURATURA MISTA:  
MARMO; ARENARIA;  
LATERIZI.

**TECNICHE**

**COSTRUTTIVE:**

GLI ANGOLI  
DELL'EDIFICIO SONO  
RINOMATAMENTE I  
PUNTI PIÙ  
SOLLECITATI DI TUTTA  
LA STRUTTURA,  
QUELLI SOTTOPOSTI A  
MAGGIORI TENSIONI E  
ANCHE I PIÙ DELICATI.  
PER PERMETTERGLI DI  
ADEMPIERE BENE  
ALLA LORO FUNZIONE,  
IN QUESTO  
MANUFATTO EDILIZIO,  
SONO STATI  
REALIZZATI CON  
PARTICOLARE CURA.  
INFATTI, SE IL RESTO  
DELLA MURATURA È  
COMPOSTA DA  
PIETrame MISTO, CIOÈ  
DALLA  
SOVRAPPPOSIZIONE  
CASUALE BLOCCHI  
INFORMI DI ARENARIE,  
MARMO, LATERIZIO, IN  
QUESTI PARTICOLARI

PUNTI, INVECE, È PRESENTE MOLTO PIÙ MARMO CHE NEL RESTO DELLA MURATURA, SOPRATTUTTO IN COINCIDENZA CON LO SPIGOLO. LA SCELTA DEL MATERIALE, DELLA SUA POSIZIONE E DELL'AVVERLO UTILIZZATI IN **BLOCCHI SQUADRATI**, OFFRE CONTEMPORANEAMENTE DIVERSE PRESTAZIONI: REGA MAGGIORE SOLIDEZZA ALLA STRUTTURA; PERMETTE UNA COSTRUZIONE PIÙ REGOLARE (REQUISITO ACCENTUATO DA ALTERNATI RICORSI IN MATTONI); INOLTRE LA REGOLARITÀ DELLE FORME PERMETTE L'UTILIZZO DI UNA MINORE PERCENTUALE DI MALTA, QUINDI IN COMPLESSO UNA MAGGIORE RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA.

**ANALISI DEL DEGRADO:** (LO STATO DI CONSERVAZIONE E LE PROPOSTE D'INTERVENTO SONO GIÀ STATE PIÙ APPROFONDITAMENTE DESCRITTE NELLA SCHEDA N°1, QUINDI VERRANNO SOLO RIASSUNTE).

IL FENOMENO DI DEGRADO PRESENTE È COSTITUITO PRINCIPALMENTE DAL **DISTACCO** DELL'INTONACO, OLTRE A PICCOLE MANCANZE NELLO SPIGOLO DESTRO DELLA PARASTA ANGOLARE DOVE SI PUÒ RITENERE CHE ABBAIA ABITO UN FENOMENO DI **EROSIONE** SULLE ARENARIE.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

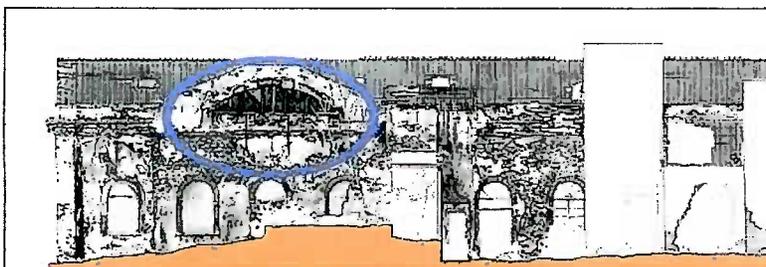
**RIMOZIONE:** DISERBAGGIO DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE SIA TRAMITE MEZZI MECCANICI (TAGLIAERBA) CHE DI MEZZI CHIMICI (SPRUZZO DEL BIOCIDA). RIMOZIONE DELL'INTONACO TRAMITE L'AUSILIO DI MEZZI MECCANICI.

**PULITURA:** SABBIAIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA SIMILE A QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI LA MURATURA; LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM).

**CONSOLIDAMENTO:** STUCCATURA DELLE MANCANZE SUGLI SPIGOLI, TRAMITE MALTA DI CALCE IDRAULICA.

**RIPRISTINO:** INTONACO CON MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE FEDELI ALL'ORIGINALE.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

6



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** UN DEGLI ELEMENTI SUPERSTITI COSTITUENTI LA PESCATORA, IL CARTER DI RACCOLTA.

**MATERIALI:** FERRO PUDELLATO.

**FUNZIONE:** LA PESCATORA COSTITUIVA L'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DELLA MISCELA ABRASIVA NECESSARIA AI TELAI PER IL TAGLIO DEI BLOCCHI DI MARMO.

**ANALISI DEL DEGRADO:** SIA LA NATURA DEL MATERIALE, SIA GLI AGENTI ATMOSFERICI (CORROSIONE ATMOSFERICA), SIA L'ESPOSIZIONE A NORD (CIÒ QUELLA PIÙ UMIDA), SIA IL FATTO DETERMINANTE DI ESSERE STATO IN CONTINUO CONTATTO CON L'ACQUA E INFINE L'ATTRITO CON GLI ALTRI ELEMENTI DELLA PESCATORA (CORROSIONE MECCANICA), SONO I FATTORI CHE LO HANNO SOTTOPOSTO CONTEMPORANEAMENTE A FORTI STRESS. LA CORROSIONE DEL FERRO È DOVUTA ALLA REAZIONE CON ACQUA E OSSIGENO (DEVONO ESSERE PRESENTI ENTRAMBI PER CAUSARE LA CORROSIONE).

LA RUGGINE È UN OSSIDO DI FERRO MOLTO SIMILE CHIMICAMENTE AL MINERALE ORIGINARIO DI ESTRAZIONE DEL FERRO, QUINDI SI PUÒ DIRE CHE LA CORROSIONE NON È ALTRO CHE LA TENDENZA A RITORNARE AD UNO STATO PIÙ VICINO A QUELLO NATURALE.

IL FATTO CHE QUESTA STRUTTURA METALLICA SIA ANCORA VISIBILE, È LA DIMOSTRAZIONE DELL'OTTIMA QUALITÀ DI QUESTO FERRO CHE NON TROVA PARAGONI CON I FERRI INDUSTRIALI MODERNI.

COME DICE G. ROCCHI: <IL FERRO ANTICO RESISTEVA (E RESISTE TUTTORA) MOLTO BENE ALLA RUGGINE SIA PERCHÉ IL FERRO MOLTO PURO RESISTE ALL'OSSIDAZIONE SIA PERCHÉ GLI STRATI DI OSSIDO MAN MANO FORMATISI DURANTE LA MARTELLATURA RIMANGONO INCORPORATI ALLA SUPERFICIE DEL FERRO CON LA INCLUSIONE DI SCORIE, CHE FORMANO UNA PELLICOLA PROTETTIVA; IN EFFETTI I TELAI ANTICHI IN FERRO DELLE GRANDI VETRATE HANNO SUPERATO I SECOLI SENZA CORRODERSI; SPESSO INFILTRAZIONI DI UMIDITÀ E DI PIOGGIA HANNO CORROSO ANCHE LE ZANCHE DI FISSAGGIO; QUESTE QUANDO SONO STATE SOSTITUITE CON FERRO MODERNO ARRUGGINISCONO MOLTO RAPIDAMENTE, AD ONTA DELLE PROTEZIONI ANTIRUGGINE; È QUINDI SEMPRE DA CONSIDERARE CON GRANDE PONDERAZIONE LA SOSTITUZIONE DI FERRI ANTICHI CON FERRO MODERNO.>.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

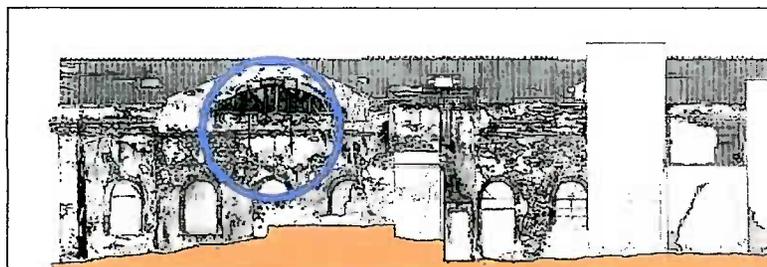
NECESSARIO PREVEDERE, SUCCESSIVAMENTE AL RESTAURO, OPERAZIONI DI MONITORAGGIO E ORDINARIA MANUTENZIONE CHE NE ASSICURINO L'INTEGRITÀ DELLE PROTEZIONI.

**PULITURA:** PRIMA DI PROCEDERE ALLA STESURA DI PROTETTIVI, È NECESSARIO RIMUOVERE LO STRATO DI RUGGINE DALLA SUPERFICIE DEL METALLO. QUESTA OPERAZIONE VIENE ESEGUITA ANCHE TRAMITE L'USO DI PRODOTTI CHIMICI MA RISULTANO INAPPROPRIATI NEL NOSTRO CASO PERCHÉ TROPPO AGGRESSIVI. QUINDI PROCEDEREMO AD UNA SPAZZOLATURA LEGGERA.

**PROTEZIONE:** UNA VOLTA PULITA LA SUPERFICIE METALLICA E PRIMA DI ESEGUIRE LA VERNICIATURA, SI APPLICANO FONDI ANTIRUGGINE COME IL TRADIZIONALE MINIO (INIBITORE DI RUGGINE, A BASE DI PIOMBO E QUINDI TOSSICO) O I PIÙ RECENTI FOSFATI DI ZINCO, DA SPALMARE IN DUE STRATI. DOPODICHÉ LA VERNICIATURA SI ESEGUE CON COPRENTI TRADIZIONALI A BASE DI OLI ESSICCATIVI (COME OLIO DI LINO CRUDO E COTTO).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES

EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.

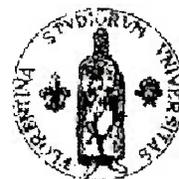


LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8

SCHEDA N°

7



**OGGETTO:**

COLATICCI  
RUGGINOSI.

**ANALISI DEL  
DEGRADO:**

I FATTORI DEL  
DEGRADO (UMIDITÀ,  
ABRASIONE, AGENTI  
ATMOSFERICI...)  
ELENCATI NELLA  
SCHEDA PRECEDENTE  
(SCHEDA N°6) HANNO  
PRODOTTO IN TUTTI  
QUESTI ANNI UNO  
SPESSO STRATO DI  
RUGGINE SUL CARTER  
DI RACCOLTA MA I  
FENOMENI DI  
ALTERAZIONE NON SI  
LIMITANO A QUESTO.  
INFATTI, A CAUSA DEL  
RUSCELLAMENTO  
DELL'ACQUA PIOVANA,  
LA RUGGINE CHE  
RICOPRE IL CARTER  
COLA SULLA PARETE  
SOTTOSTANTE.  
TUTTO QUESTO  
PROSPETTO È  
CARATTERIZZATO DA  
UN COLORE  
ROSSASTRO-  
MARRONCINO CHE  
NON È UNA  
TINTEGGIATURA  
DIVERSA DALLO

ORIGINALE DCRA, BENSÌ SONO STRATIFICAZIONI DI COLATICCI RUGGINOSI.

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

RIMOZIONE: L'OPERAZIONE DI DISERBAGGIO DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE A TERRA SI BASERÀ SULL'ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI (TAGLIAERBA). DOPODICHE, PER PERMETTERE UNA DISINFESTAZIONE PIÙ EFFICACE NEL TEMPO, IN ALTRE PAROLE AFFINCHÉ LA RICRESCITA SIA OSTACOLATA, SI RICORRERÀ ALL'USO DI DISERBANTE, COMPOSTO CHIMICO AD AZIONE BIOCIDA, DILUITO, AL MOMENTO DELL'USO, E APPLICATO MEDIANTE SPRUZZATORI DA GIARDINAGGIO.

ALTRA ASPORTAZIONE MANUALE, COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI, È PREVISTA PER LE STRUTTURE BIOLOGICHE CRESCIUTE SUL MURO E SPRUZZO DI SOSTANZE BIOCIDA SULLA PARETE.

PER TUTTO L'EDIFICIO SI È PREVISTA LA RIMOZIONE DEI VEGGI STRATI D'INTONACO, CHE IN QUESTO CASO HA ANCHE IL BENEFICO EFFETTO DI PORTARE VIA CON SÉ QUESTE AMPIE MACCHIE DI RUGGINE.

PULITURA: IN QUESTA PARETE SI SONO TUTTAVIA VERIFICATI NEL TEMPO DISTACCHI TOTALI DELL'INTONACO, QUINDI LE COLATE DI RUGGINE IN ALCUNI CASI HANNO INTACCATO ANCHE LA SUPERFICIE MURARIA STESSA.

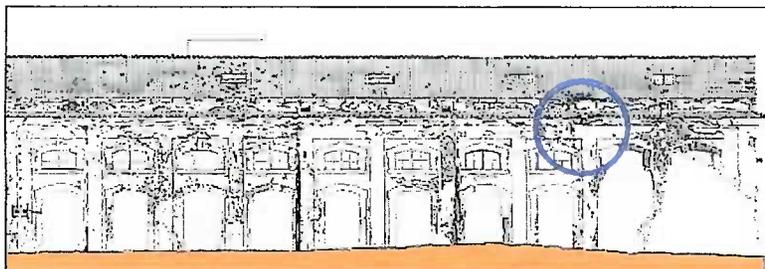
LE MACCHIE DI RUGGINE VANNO ELIMINATE USANDO SOLUZIONI ACQUOSE DI SOSTANZE COMPLESSATI CHE HANNO LA PROPRIETÀ DI "LEGARE" IL PRODOTTO DA ELIMINARE FORMANDO COMPOSTI SOLUBILI.

PER LA LORO RIMOZIONE PUÒ ESSERE USATA UNA SOLUZIONE ACQUOSA DI FLUORURO DI AMMONIO A PH NEUTRO.

TUTTAVIA VA RICORDATO CHE LE SOSTANZE COMPLESSATI POSSONO INTERAGIRE NON SOLO CON I COMPOSTI ESTRANEI AL MATERIALE LAPIDEO MA ANCHE CON LO STESSO SUPPORTO, IL LORO IMPIEGO VA QUINDI ATTENTAMENTE CONTROLLATO DA PARTE DELL'OPERATORE.

LE OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETERANNO MEDIANTE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), MOLTO IMPORTANTE PERCHÉ OLTRE A LAVARE LA SUPERFICIE MURARIA NE ELIMINERÀ I RESIDUI DEL BIOCIDA E DEL FLUORURO DI AMMONIO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRIGOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

8



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OGGETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO DI ANALISI DEL DEGRADO:** FRATTURA,  
CONSEGUENZA DI UN COLPO ACCIDENTALE.

**MATERIALI:** MATTONI, MARSIGLIESI E INTONACO.

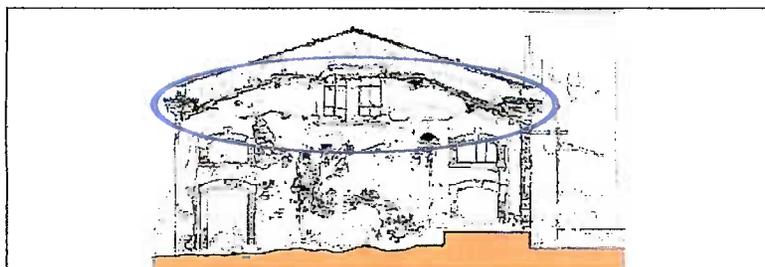
**PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** DELLE TEGOLE MARSIGLIESI E ASPORTAZIONE DEGLI ELEMENTI  
PERICOLANTI CHE FORMANO LA MODANATURA DEL FREGIO.

NATURALMENTE QUESTE OPERAZIONI PREVEDONO ANCHE LA RIMOZIONE DELL'INTONACO, CHE COMUNQUE È PREVISTA PER TUTTA LA FACCIAIA.

**RIPRISTINO:** SI PROCEDERÀ SECONDO LA TECNICA DEL "CUCI-SCUCI", AVENDO CURA DI DEMOLIRE SOLO LO STRETTO NECESSARIO. INOLTRE, PRIMA DI POSARE LA COPERTURA POTREBBE ESSERE OPPORTUNO STENDERE UNA GUAINA IMPERMEABILIZZANTE. L'ULTIMA OPERAZIONE SARÀ QUELLA DI RIPRISTINO DELL'INTONACO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

9

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** SCOSSALINA.

**MATERIALI:** LAMIERA ZINCATA.

**FUNZIONE:** L'INSOLITA POSIZIONE E CONFORMAZIONE FA IPOTIZZARE CHE IN QUEL PUNTO FOSSE PRESENTE UNA TETTOIA AGGIUNTIVA, CHE PROLUNGAVA LO SPAZIO COPERTO. L'IPOTESI È CONFERMATA DALLA FOTO STORICA DELLA SEGHERIA, CHE CONFERMA L'ESISTENZA DI QUESTO ULTERIORE CORPO.

ANCHE NEI DOCUMENTI RINVENUTI IN ARCHIVIO VIENE FATTO RIFERIMENTO AD UN TELAIO ESTERNO CHE VENIVA AZIONATO DALL'ALBERO DI TRASMISSIONE MAESTRO.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** MANUALE DELLA SCOSSALINA. SI PROCEDE ASPORTANDO L'ELEMENTO METALLICO E TUTTA LA MALTA CEMENTIZIA CHE LO FISSA ALLA PARETE, TRATTANDOSI DI UNA PARETE IN MURATURA MISTA A SEGUITO DELL'ASPORTAZIONE SI CREERÀ UNO SCASSO DI DIMENSIONE CONSISTENTE CHE ANDRÀ TRATTATO CON PARTICOLARE ATTENZIONE PROCEDENDO CON LA TECNICA "CUCI-SCUCI".

NATURALMENTE È PREVISTA ANCHE LA RIMOZIONE DEGLI STRATI RESIDUI D'INTONACO, CON ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI.

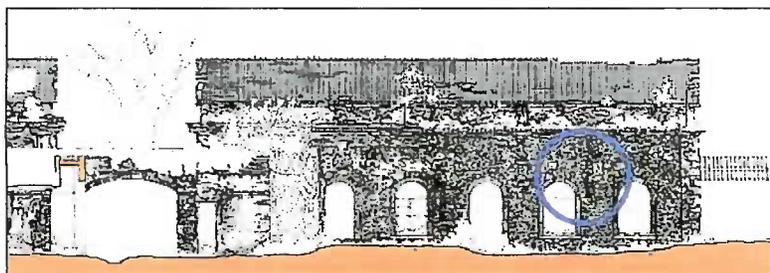
**PULITURA:** PER ELIMINARE I RESIDUI PIÙ PICCOLI D'INTONACO È NECESSARIO ADOTTARE METODI DI MAGGIORE PRECISIONE, QUINDI SI RICORRERÀ A SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA. INOLTRE PRIMA DI APPRESTARSI ALLA RICOSTRUZIONE DELL'INTONACO, È NECESSARIO COMPIERE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE LE POLVERI DELLE OPERAZIONI PRECEDENTI.

**RIPRISTINO:** LA PARTE CON LA MANCANZA LASCIATA DALLA SCOSSALINA, ANDRÀ ACCURATAMENTE STUCCATA CON MALTA DI CALCE IDRAULICA (A INERTI GROSSI).

LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (MALTA DI CALCE AEREA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES

EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

10



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** "SORTA DI CONTRAFFORTE" ESTERNO A LE MENSOLE ESTERNE.

**MATERIALI:** MURATURA MISTA: MARMO; ARENARIA; MATTONI, IL TUTTO LEGATO CON ABBONDANTE MALTA.

**TECNICHE COSTRUTTIVE:** CI SONO DIVERSI PUNTI SULLA MURATURA, ALLINEATI, DOVE SONO CONCENTRATI DEI MATTONI DISPOSTI ORDINATAMENTE IN UNA PICCOLA PORZIONE RETTANGOLARE. QUI LA MURATURA È STATA ESEGUITA CON PARTICOLARE ATTENZIONE UTILIZZANDO SOLAMENTE

MATTONI PIENI, PER CREARE UN BUON PUNTO DI ANCORAGGIO ALLE MENSOLE IN MARMO CHE, NELLA PARTE INTERNA DELL'EDIFICIO, SOSTENEVANO TUTTO L'IMPALCATO AEREO PER LA DISTRIBUZIONE DELLA FORZA MOTTRICE.

### **ANALISI DEL DEGRADO:**

TUTTO QUESTO LATO DELL'EDIFICIO, MOLTO PIÙ CHE IL SUO OPPOSTO, È INTERESSATO DAL FENOMENO DEL DISTACCO, TOTALE O PARZIALE, DEGLI STRATI D'INTONACO, DALL'ATTACCO DEI MICRORGANISMI E DEI LICHENI E DALLA CRESCITA INCONTROLLATA DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE. QUESTO FATTO HA UNA RAGIONE FONDAMENTALE, L'ESPOSIZIONE A NORD, CHE LO RENDE, PIÙ DELL'ALTRO, SOGGETTO A MINOR EVAPORAZIONE ACCENTUANDONE GLI ESITI NOCIVI DELL'UMIDITÀ.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**PULITURA:** ESSENDOSI VERIFICATI NEL TEMPO DISTACCHI TOTALI DELL'INTONACO, LA PATINA BIOLOGICA HA POTUTO ATTACCARE DIRETTAMENTE LA SUPERFICIE MURARIA. IN QUESTA IMMAGINE SONO VISIBILI SOPRATTUTTO CROSTE NERE (CHE ALTRO NON SONO CHE PATINA BIOLOGICA SECCA) E LICHENI SECCHI PERCHÉ SONO STATE SCATTATE NELLA STAGIONE ESTIVA.

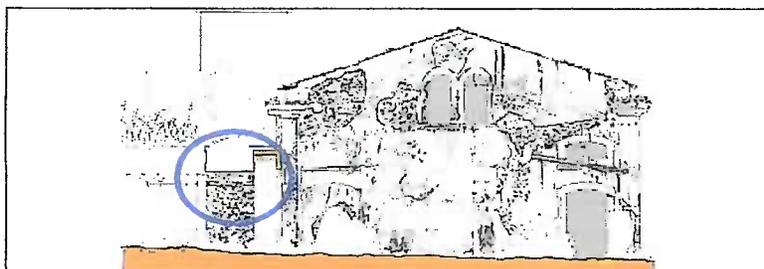
SARÀ NECESSARIO ELIMINARE A FONDO QUESTI MICRORGANISMI, COSA CHE IN GRAN PARTE VERRÀ EFFETTUATA DA UN'OPERAZIONE DI ROUTINE (CIÒÈ CHE RIGUARDA L'INTERA SUPERFICIE MURARIA), LA SABBIATURA A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA.

PER ASSICURARSI PERÒ CHE I MICRORGANISMI E I LICHENI VENGANO ESTIRPATI COMPLETAMENTE, SARÀ BENE EFFETTUARE IMPACCHI DI SOSTANZE AD AZIONE BIOCIDA MA SOLO NEI PUNTI IN CUI I BIODETERIOGENI HANNO ATTACCATO DIRETTAMENTE LA MURATURA.

L'ULTIMA OPERAZIONE CONSISTERÀ LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE COMPLETAMENTE OLTRE AI RESIDUI D'INTONACO, ANCHE I RESIDUI DELLA SOSTANZA BIOCIDA.

**RIPRISTINO:** LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (CIÒÈ NUOVAMENTE MALTA DI CALCE AEREA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

11

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** VOLTA DI SOSTEGNO DELLA GORA.

**MATERIALI:** MATTONI.

**ANALISI DEL DEGRADO:** EFFLORESCENZE SALINE. SONO MACCHIE DI COLORE BIANCASTRO E ASPETTO CRISTALLINO E PULVERULENTO. L'ABBONDANTE PRESENZA DI EFFLORESCENZE SALINE IN QUESTO PUNTO È DOVUTA A DUE RAGIONI SPECIFICHE, LA PRIMA È CONSEGUENZA DELL'ESSERE LA STRUTTURA IN MATTONI, CHE SONO IL MATERIALE PIÙ SOGGETTO A QUESTO FENOMENO, LA

SECONDA È L'ESSERE LA GORA UNA STRUTTURA DI CANALIZZAZIONE DELL'ACQUA. IN SINTESI IL BINOMIO ACQUA-MATTONI È QUELLO TIPICO DELLA PRESENZA DI EFFLORESCENZE.

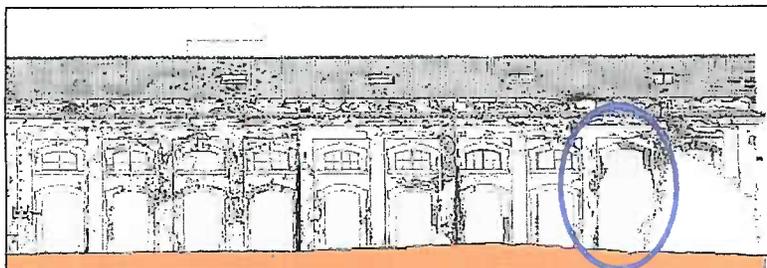
### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

L'INTERVENTO PER LE EFFLORESCENZE SALINE SUI MATTONI È SPECIFICO: PER RIUSCIRE A ELIMINARE QUESTI DEPOSITI CALCAREI E SALINI È NECESSARIO RICORRERE A SISTEMI PIÙ DRASTICI, RISPETTO A QUELLI UTILIZZATI NEL RESTO DELL'EDIFICIO, COME IMPACCHI A PH DEBOLMENTE ACIDO E SCALPELLATURA. ESTREMA CURA VA RIPOSTA NEL GRADUARNE PER QUANTO POSSIBILE L'AZIONE E NELL'ARRESTARLA QUANDO L'AZIONE DELL'INCROSTAZIONE SIA STATO CONVENIENTEMENTE RIDOTTO.

LE OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETERANNO MEDIANTE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), MOLTO IMPORTANTE PERCHÉ OLTRE A LAVARE LA SUPERFICIE MURARIA NE ELIMINERÀ I RESIDUI DELLA SOSTANZA CORROSIVA A PH ACIDO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES

EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

12



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO DI  
ANALISI DEL  
DEGRADO:**

**GROSSA  
MANGANZA.**

È LA CONSEGUENZA  
DI UNA DEMOLIZIONE  
EFFETTUATA PER  
PERMETTERE L'USCITA  
DI MACCHINARI, UNA  
VOLTA DIMESSA LA  
SEGHERIA. SECONDO  
LA TESTIMONIANZA  
DEL SIG. MARINO  
REMORINI, FIGLIO  
DELLA CUSTODE E  
OPERAIO NELLA  
SEGHERIA, L'ULTIMO  
PROPRIETARIO, IL SIG.  
GIARI, VENDETTA  
TUTTI GLI ANTICHI  
TELAI DELLA  
SEGHERIA COME  
FERRAGLIE. IL FATTO  
È SINTOMATICO DELLA  
SCARSA  
CONSIDERAZIONE IN  
CUI ERA TENUTO  
QUESTO MANUFATTO  
EDILIZIO DA PARTE  
DEI PROPRIETARI.  
INOLTRE, L'INCAUTO  
INTERVENTO HA  
PROVOCATO EVIDENTI  
DISSESTI SIA NELLE  
PARTI LIMITROFE CHE  
NEL LATO EST  
ADIACENTE A QUESTO

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

SI INTERVERRÀ RICOSTRUIENDO LA PARTE MANCANTE DELLA MURATURA DELLA MURATURA TRAMITE LA TECNICA DEL "CUCI-SCUCI". É IMPORTANTE PORRE PARTICOLARE ATTENZIONE NELL'ELIMINARE QUELLA PARTE DI MATERIALE CHE RISULTA DANNEGGIATO DALLA PRECEDENTE DEMOLIZIONE (AD ESEMPIO MATTONI SPEZZATI), AL FINE DI CREARE UN BUON ANCORAGGIO TRA LA MURATURA VECCHIA E LA NUOVA.

SEGUIRÀ UN'OPERAZIONE DI PULITURA TRAMITE SABBIATURA A BASSA PRESSIONE, PER RIMUOVERE RESIDUI D'INTONACO, DELLA MALTA DEI GIUNTI, DELLE POLVERI DELL'OPERAZIONE PRECEDENTE E SEGUIRÀ ANCHE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE. SI DOVRÀ REALIZZARE ANCHE UN ARCHITRAVE IN G.A. IN MODO DA RICREARE LA PORTA E LA FINESTRA SOVRASTANTE.

L'ULTIMA OPERAZIONE PREVEDE NUOVA STESURA DELL'INTONACO CON MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE FEDELI AGLI ORIGINARI.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.

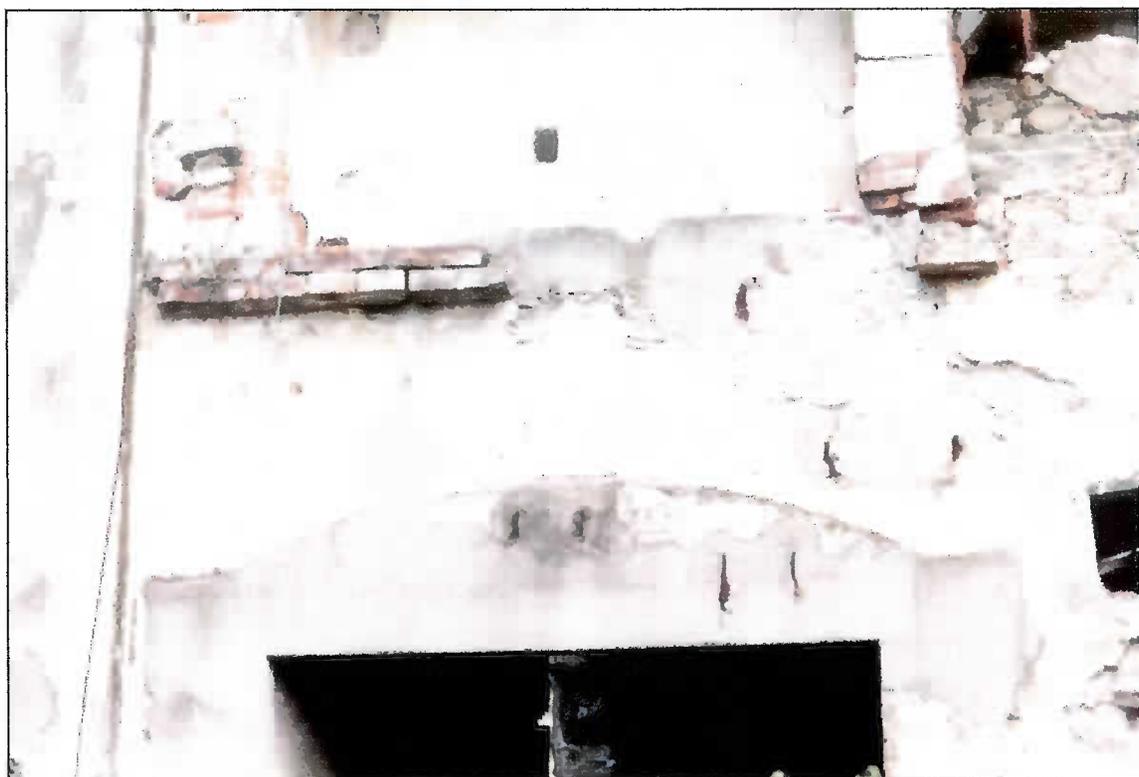


SCHEDA N°

13

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** ESEMPIO DI UN VECCHIO INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO.

**MATERIALI:** CEMENTO ARMATO.

**ANALISI DEL DEGRADO:** PIÙ CHE DI DEGRADO SI DEVE PARLARE DI NON APPROPRIATI INTERVENTI CONSERVATIVI, MA IN QUESTO CASO OLTRE AI MATERIALI ANCHE LE TECNICHE COSTRUTTIVE NON SONO CONSONE ALLA ORIGINARIA FATTURA DEL MANUFATTO.

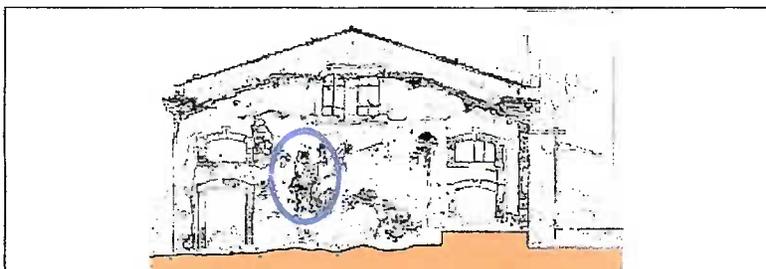
## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

L'INTERVENTO SU QUESTO ARCHITRAVE RISULTA ESSERE ABBASTANZA DELICATO. OCCORRE PROCEDERE PUNTELLANDO L'APERTURA, DOPODICHÉ SI DOVRANNO REALIZZARE SUI LATI DELLA PORTA DUE SCASSI DI DIMENSIONI ADEGUATI A CONTENERE DUE PILASTRI IN CEMENTO ARMATO CHE DOVRANNO ESSERE AMMORZATI CON LA MURATURA TRAMITE STAFFE PASSANTI O ZANCHE DISTRIBUITE LUNGO L'ALTEZZA. A QUESTO PUNTO SOPRA L'ARCHITRAVE SI DEMOLIRÀ PER UNA PROFONDITÀ PARI ALLA METÀ DELLO SPESSORE DELLA MURATURA E SI ANDRÀ AD INSERIRE UN TRAVETTO IN CEMENTO ARMATO DI OPPORTUNE DIMENSIONI, SIA SULL'ESTERNO CHE SULL'INTERNO DELLA PARETE. IL VECCHIO ARCHITRAVE IN C.A. SI TROVA COSÌ SCARICO E SI PUÒ PROCEDERE ALLA SUA RIMOZIONE.

SEGUIRÀ UN'OPERAZIONE DI PULITURA TRAMITE SABBIAURA A BASSA PRESSIONE, PER RIMUOVERE GLI STRATI D'INTONACO, DELLA MALTA E DEI RESIDUI DELL'OPERAZIONE PRECEDENTE, DOPODICHÉ SEGUIRÀ ANCHE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE. SI DOVRÀ REALIZZARE ANCHE UN ARCHITRAVE IN C.A. IN MODO DA RICREARE LA PORTA E LA FINESTRA SOVRASTANTE.

SARÀ POI NECESSARIO RICOSTRUIRE ESTERNAMENTE LA GHIERA IN MATTONI, INFINE, L'ULTIMA OPERAZIONE PREVEDE NUOVA STESURA DELL'INTONACO CON MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE FEDELI AGLI ORIGINARI.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.

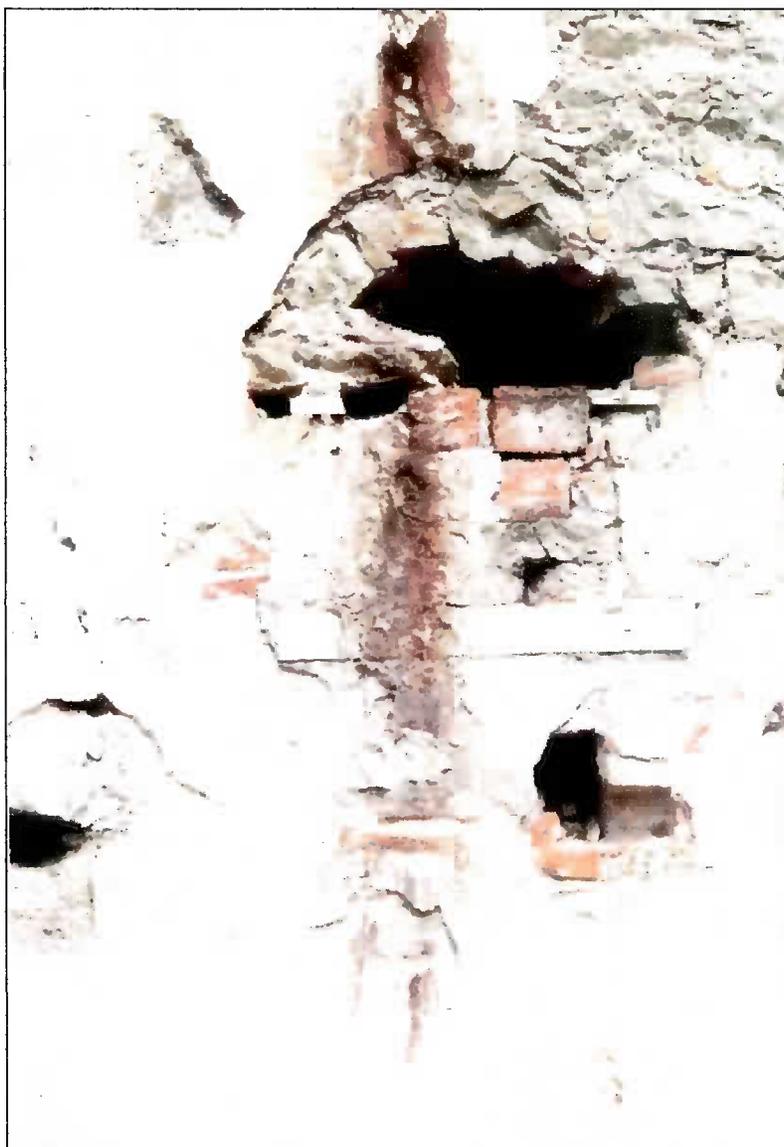


LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8

SCHEDA N°

14



**OGGETTO DI  
ANALISI DEL  
DEGRADO:**

**OGGETTO:**

L'ALBERO MAESTRO DI TRASMISSIONE, CHE AZIONAVA TUTTI I TELAI DEL PADIGLIONE MAGGIORE, ATTRAVERSO QUESTA PICCOLA APERTURA PRATICATA NELLA PARETE EST TRASMETTEVA IL MOVIMENTO AD UN ALTRO TELAIO POSTO ALL'ESTERNO DELL'EDIFICIO E PROTETTO DA UNA TETTOIA. QUESTA TETTOIA È VISIBILE IN UNA FOTO STORICA, SUCCESSIVAMENTE VENNE DEMOLITA MA SE NE SCORGONO ANCORA LE TRACCE NELLA SCOSSALINA CHE È RIMASTA FISSATA ALLA PARETE DEL PADIGLIONE E RIPIRTATA NELLA SCHEDA N°9.

## **MATERIALI:**

MURATURA MISTA: ARENARIE; LATERIZI; MARMO. GORNICI ABSETTANTI IN MATTONI. INTONACO MALTA DI CALCE AEREA.

## **ANALISI DEGRADO:**

**DEPOSITO SUPERFICIALE**, UN MISTO DI POLVERI DI MARMO, RESIDUE DELLA LAVORAZIONE, E GRASSO, NECESSARIO ALLA LUBRIFICAZIONE DELL'ALBERO DI TRASMISSIONE.

## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

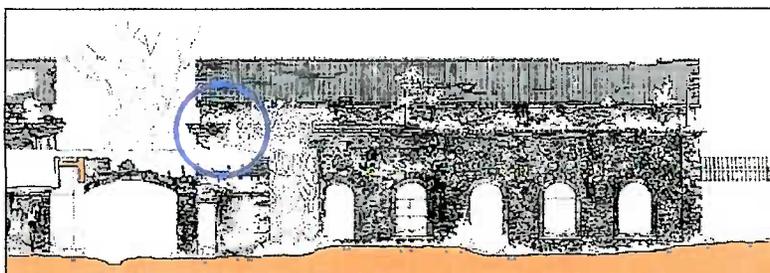
UNA DELLE FASI D'INTERVENTO NELLA SEGHERIA PREVEDE LA RIMOZIONE DELL'INTONACO ORIGINARIO. ABBIAMO SOTTOLINEATO PIÙ VOLTE CHE QUESTA OPERAZIONE HA IL VANTAGGIO DI ELIMINARE SVARIATI EFFETTI DEL DEGRADO, IN QUESTO CASO, INFATTI, INSIEME ALL'INTONACO SE NE ANDREBBE ANCHE IL DEPOSITO SUPERFICIALE.

**RIMOZIONE:** DEGLI STRATI RESIDUI D'INTONACO. ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI.

**PULITURA:** PER ELIMINARE COMPLETAMENTE ANCHE I RESIDUI PIÙ PICCOLI D'INTONACO È NECESSARIO ADOTTARE METODI DI MAGGIORE PRECISIONE. SI È PENSATO QUINDI DI RICORRERE A SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA. CON LE SABBIATURE SI INSISTERÀ SULL'ELEMENTO IN MARMO (RICONOSCIBILE DALL'IMMAGINE) CHE È IN GRAN PARTE RICOPERTO DAL DEPOSITO SUPERFICIALE. INOLTRE PRIMA DI APPRESTARSI ALLA RICOSTRUZIONE DELL'INTONACO, COMPIERE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE ANCHE LE POLVERI DELLE OPERAZIONI PRECEDENTI.

**RIPRISTINO:** LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (CIÒÈ NUOVAMENTE MALTA DI CALCE AEREA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

15

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** ROTTURA DEL PLUVIALE.

**MATERIALE:** LAMIERA ZINCATA.

**ANALISI DEL DEGRADO:** IL FATTO CHE I MEZZI DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE PIOVANE NON SIA PIÙ EFFICIENTE È UNO DEI SINTOMI DELL'INGURIA E DELL'ABBANDONO PIÙ GRAVI, POICHÉ INNESCA UNA SERIE DI EFFETTI DI ALTERAZIONE DEI MATERIALI E DELLA STRUTTURA, LEGATI SOPRATTUTTO ALL'UMIDITÀ DI INFILTRAZIONE E DI ACQUE DISPERSE.

I FENOMENI DI DEGRADO PRODOTTI, DAL PIÙ LIEVE AL PIÙ INTENSO, SONO: LA CRESCITA DI PATINA BIOLOGICA, L'INSORGERE DI EFFLORESCENZE, LA PERDITA DELLA TINTEGGIATURA, LA CREAZIONE DI RIGONFIAMENTI A CUI NECESSARIAMENTE SEGUE IL DISTACCO, DI STRATI O TOTALE, DELL'INTONACO. OLTRE ALL'UMIDITÀ ANCHE L'ACQUA STESSA PENETRANDO ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO PROVOCHEREBBE ENORMI DANNI: (OLTRE AD ACCELERARE TUTTI QUELLI ELENCATI PRIMA) ATTRAVERSO IL FENOMENO DEL RUSCELLAMENTO I COLATICCI (TIPICHE STRIATURE NERASTRE CHE RICALCANO IL PERCORSO DELL'ACQUA); FINO ALL'EROSIONE DEL MATERIALE LAPIDEO E A INNESTARE FENOMENI DI MARCISCENZA DEGLI TRAVICELLI.

ALTRA FONTE NOTEVOLE DI DEGRADO SONO GLI AGENTI BIODETERIOGENI (QUI PRESENTI AL COMPLETO): MICRORGANISMI, LICHENI, VEGETAZIONE INFESTANTE DI TIPO ERBACEO, ARBUSTIVO E ARBOREO.

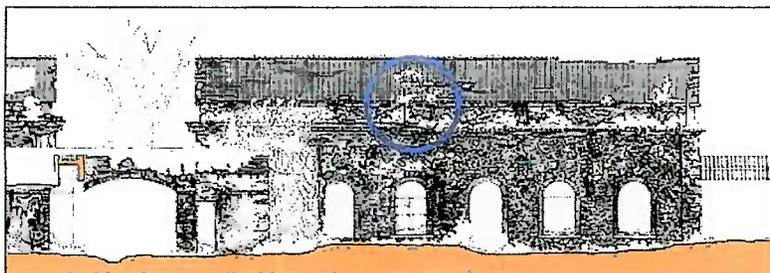
A QUESTO RIGUARDO UN PARTICOLARE SINGOLARE (MA SINTOMATICO DEL GRAVE LIVELLO DI ABBANDONO IN CUI VERSA L'EDIFICIO) DA SOTTOLINEARE, È LA CRESCITA DI UN ALBERO ALL'INTERNO DEL CANALE DELLA GORA.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

PRIMA DI PROCEDERE ALL'ELIMINAZIONE DI TUTTI QUESTI EFFETTI SECONDARI È EVIDENTE L'URGENZA DEL RIPRISTINO DELL'IMPIANTO DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE (SI È PREVISTO UN NUOVO PLUVIALE IN RAME).

PER QUEL CHE RIGUARDA I BIODETERIOGENI BISOGNERÀ APPLICARE TUTTE LE TECNICHE DI RIMOZIONE E PULITURA PREVISTI NELLA SEGHERIA E ELENCATI NELLA RELAZIONE.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.

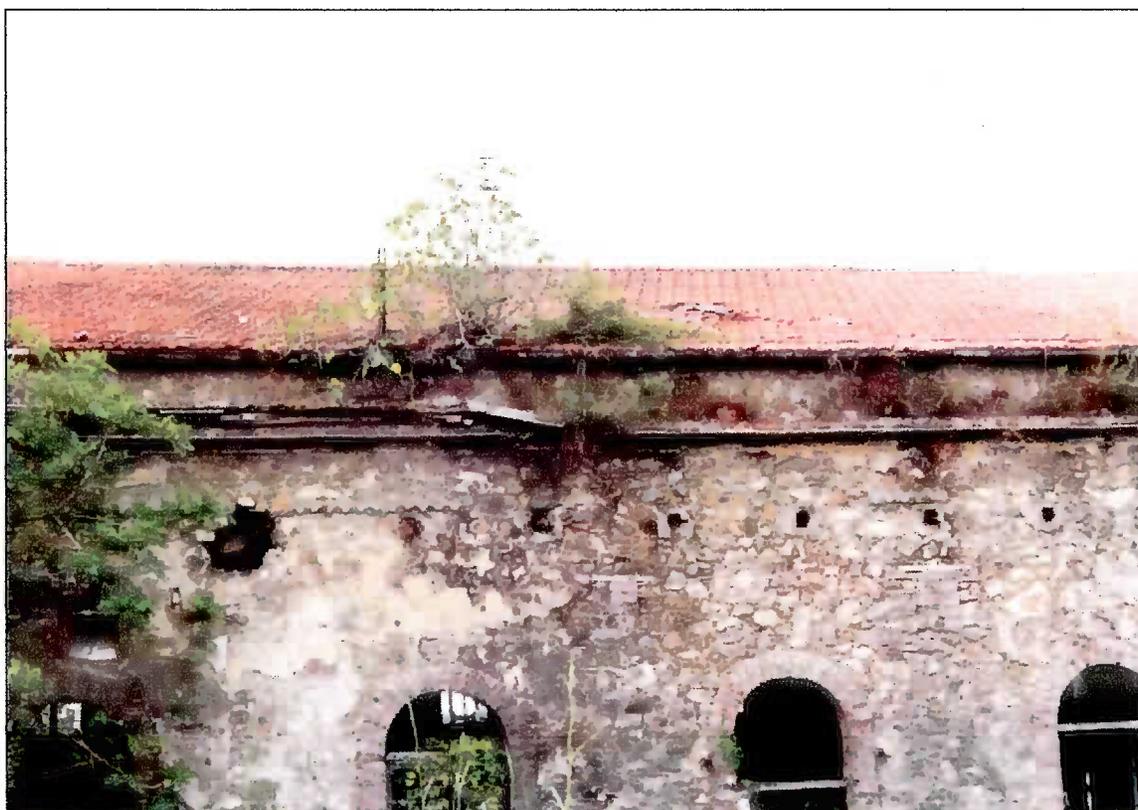


SCHEDA N°

16

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** MANDANZA TRA LE MODANATURE DEL FREGIO.

**MATERIALI:** LATERIZIO; MARMO; LAVAGNA.

**TECNICHE COSTRUTTIVE:** INTEGRAZIONE DI MALTA CEMENTIZIA SU  
UNA PARETE IN MURATURA MISTA IN PIETRAMME LOCALE.

**ANALISI DEL DEGRADO:** LE CAUSE CHE HANNO PRODOTTO LA

ROTTURA DEL FREGIO SONO DA RINTRACCIARSI NELL'INCURIA E NELL'ABBANDONO IN CUI VERSA QUESTA SEGHERIA, IPOTESI CONFERMATA ANCHE DAL DILAGARE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** DELLE STRUTTURE BIOLOGICHE, COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI (TAGLIAERBA E CESCOIA); COMPLETATA DA SPRUZZO DI DISERBANTE.

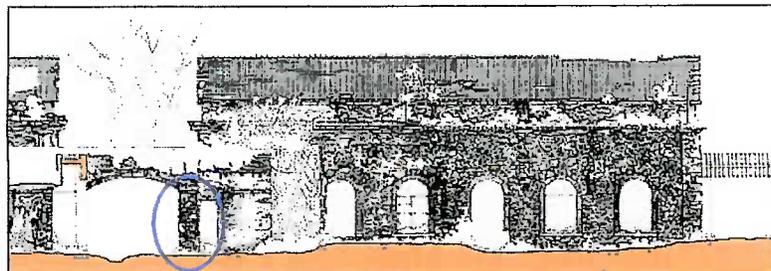
RIMOZIONE DEL POCO INTONACO RESIDUO, TRAMITE MEZZI MECCANICI.

RIMOZIONE DEGLI ELEMENTI SPEZZATI O DETERIORATI IN PROSSIMITÀ DELLA MANGANZA (TECNICA CUCI-SCUCI).

**PULITURA:** DELLA PARETE CON SABBIAATURA A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) CON POLVERI A GRANULOMETRIA < 0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI LA MURATURA; L'OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETANO CON LAVAGGIO DELLA PARETE CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM).

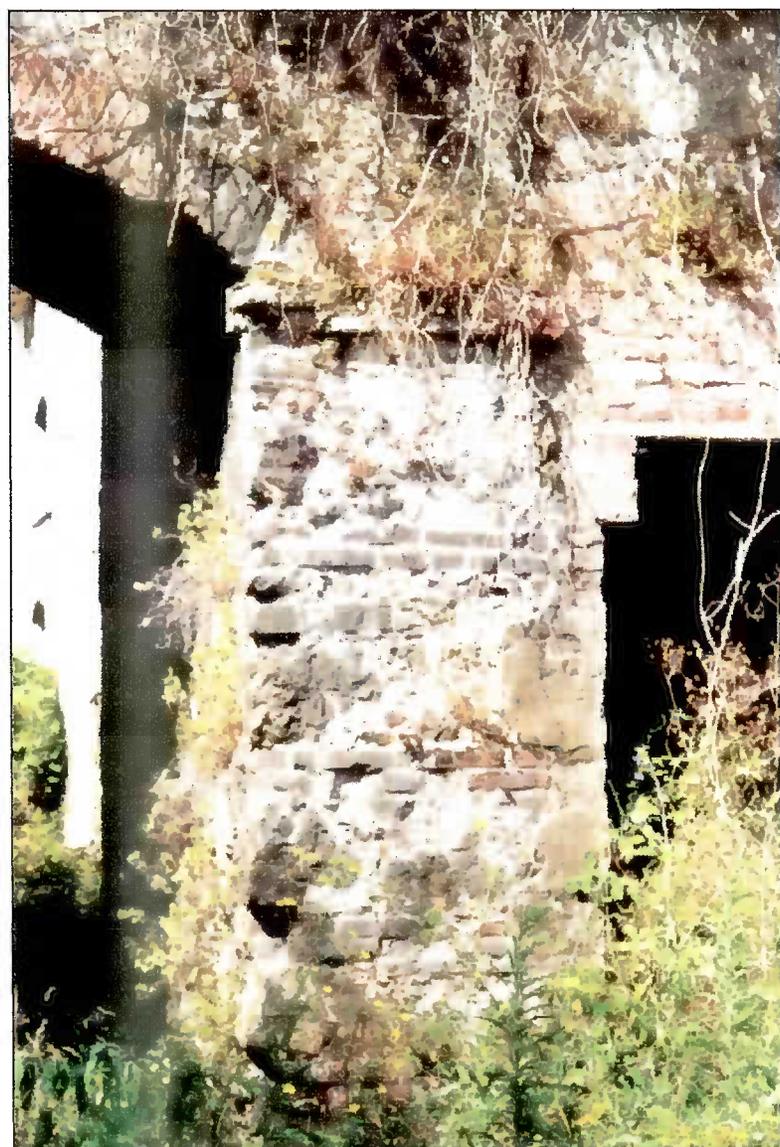
**RIPRISTINO:** DEL FREGIO, NEL RISPETTO DEI MATERIALI E DELLA TECNICA COSTRUTTIVA ORIGINARI.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



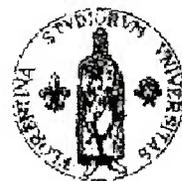
LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



SCHEDA N°

17



**OGGETTO:**

UNO DEI PIEDRITTI DI  
SOSTEGNO DELLA  
GORA.

**MATERIALI:**

MURATURA IN  
PIETrame MISTO NON  
SQUADRATO:  
ARENARIE; MATTONI E  
BLOCCHETTI DI  
MARMO DI SCARTO.

**TECNICHE**

**CoSTRUTTIVE:**

SI NOTANO DEI  
RICORSI IN MATTONI,  
CHE ALTERNANO LA  
MURATURA MISTA.

**ANALISI DEL**

**DEGRADO:**

EFFLORESCENZE.  
SONO MACCHIE DI  
COLORE BIANCASTRO  
E ASPETTO  
CRISTALLINO E  
PULVERULENTO.  
L'ABBONDANTE  
PRESENZA DI  
EFFLORESCENZE  
SALINE IN QUESTO  
PUNTO È DOVUTA A  
DUE RAGIONI  
SPECIFICHE

DELL'ESSERE LA STRUTTURA, PER BUONA PARTE, IN MATTONI, CHE SONO IL MATERIALE PIÙ SOGGETTO A QUESTO FENOMENO, LA SECONDA È L'ESSERE LA GORA UNA STRUTTURA DI CANALIZZAZIONE DELL'ACQUA.

IN QUESTA IMMAGINE È EVIDENTE COME SIA IN ATTO UN NOTEVOLE BIODETERIORAMENTO DELL'EDIFICIO, CHE APPARE QUASI SOFFOCATO DAI BIODETERIDGENI DI OGNI TIPO (ALBERI; RAMPICANTI; ARBUSTI; ERBACCE; LICHENI; MICROORGANISMI).

QUESTO ACCADE NON SOLO A CAUSA DELL'ABBANDONO IN CUI VERSA L'EDIFICIO, MA ANCHE PERCHÉ QUESTE TRE IMMAGINI RITRAGGONO LA PARETE ESPOSTA A NORD CHE, ESSENDO QUELLA SOGGETTA A MINOR EVAPORAZIONE, OFFRE L'AMBIENTE PIÙ FAVOREVOLE AL BIOINSEDIAMENTO.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

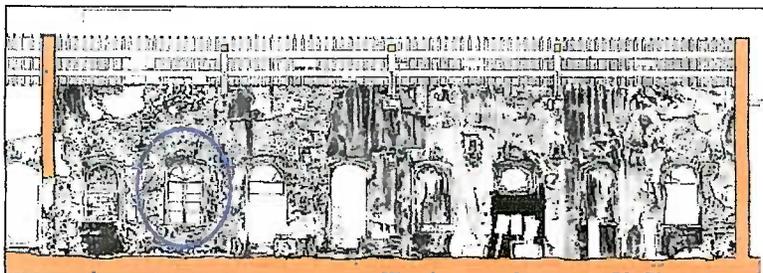
**RIMOZIONE:** DELLE STRUTTURE BIOLOGICHE, COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI (TAGLIAERBA E DESOIA); COMPLETATA DA SPRUZZO DI DISERBANTE.

**PULITURA:** L'INTERVENTO PER LE EFFLORESCENZE SALINE È SPECIFICO: PER RIUSCIRE A ELIMINARE QUESTI DEPOSITI CALCAREI E SALINI È NECESSARIO RICORRERE A SISTEMI PIÙ DRASTICI, RISPETTO A QUELLI UTILIZZATI NEL RESTO DELL'EDIFICIO, COME IMPACCHI A PH DEBOLMENTE ACIDO E SCALPELLATURA. ESTREMA CURA VA RIPOSTA NEL GRADUARNE PER QUANTO POSSIBILE L'AZIONE E NELL'ARRESTARLA QUANDO L'AZIONE DELL'INCROSTAZIONE SIA STATO CONVENIENTEMENTE RIDOTTO.

PER ELIMINARE PERÒ I LICHENI SI UTILIZZERANNO A SPATOLE E RASCHIETTI, MENTRE NEI PUNTI IN CUI I MICROORGANISMO HANNO FORMATO PATINE BIOLOGICHE O GROSTE NERE, SARÀ NECESSARIO RICORRERE A METODI PIÙ DRASTICI E INVASIVI, COME GLI IMPACCHI DI SOSTANZE AD AZIONE BIODIDA.

LE OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETERANNO MEDIANTE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), MOLTO IMPORTANTE PERCHÉ OLTRE A LAVARE LA SUPERFICIE MURARIA NE ELIMINERÀ I RESIDUI DELLA SOSTANZA CORROSIVA A PH ACIDO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.

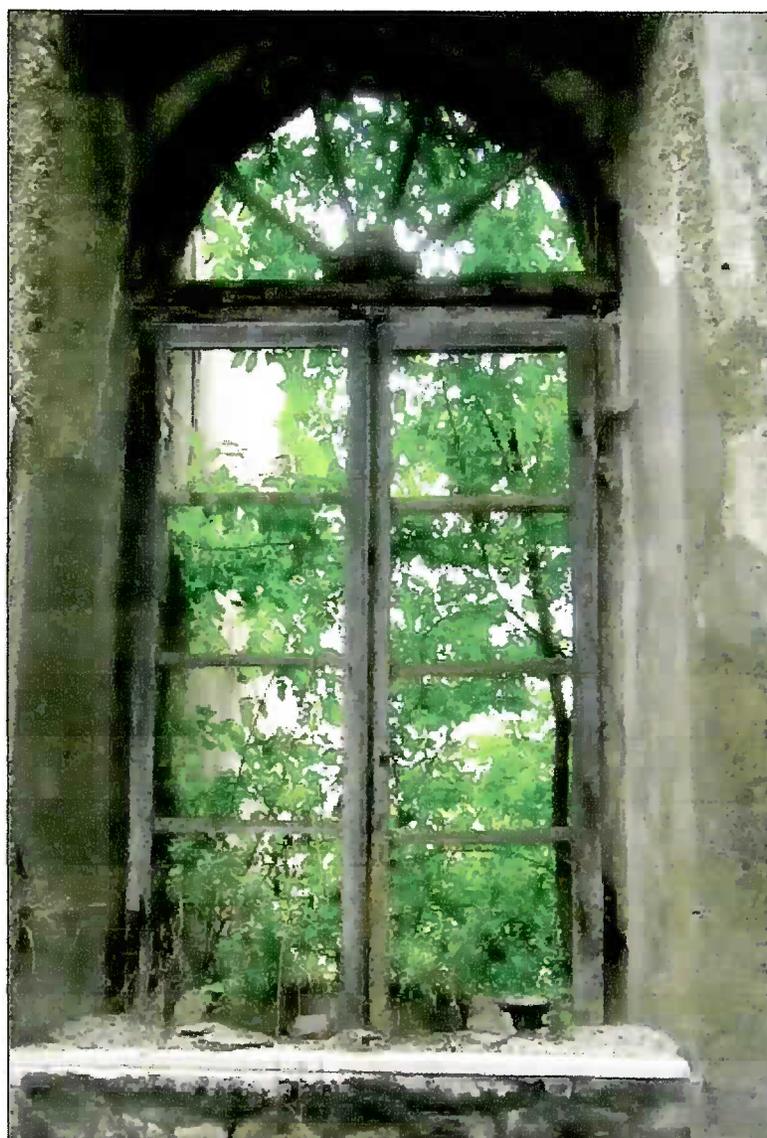
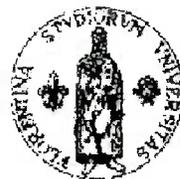


SCHEDA N°

18

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:**

PARTICOLARE  
INFISSO.

**MATERIALE:**

ABETE.

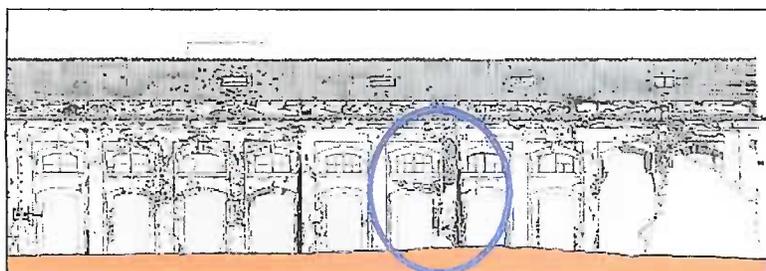
**ANALISI DEL  
DEGRADO:**

IL DETERIORAMENTO  
DI QUESTE  
STRUTTURE LIGNEE È  
TALE DA NON  
PERMETTERNE IL  
RECUPERO O IL  
RIUTILIZZO.

**PROPOSTA DI  
INTERVENTO:**

E' PREVISTA LA  
RIMOZIONE DI TUTTI  
GLI INFISSI (INFERIORI  
E SUPERIORI). IN  
QUESTO CASO  
SPECIFICO POI  
L'APERTURA TORNERÀ  
AD ESSERE UNA  
FINESTRA, COM'ERA  
IN ORIGINE.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



SCHEDA N°

19



**OGGETTO:**

ROTTURA DEL  
PLUVIALE.

**MATERIALE:**

LAMIERA ZINCATA.

**ANALISI DEL  
DEGRADO:**

SI È FORMATA, SU  
UNA PORZIONE DI  
MURATURA, UNA  
SPESSA CROSTA  
NERA, CHE È  
FORMATA DA PATINA  
BIOLOGICA SECCA,  
ALIMENTATA DAL  
RUSCELLAMENTO  
DELL'ACQUA DI  
SCARICO DEL  
PLUVIALE.

**PROPOSTA DI  
INTERVENTO:**

RIMOZIONE: DELLE  
STRUTTURE  
BIOLOGICHE,  
COADIUVATA DA MEZZI  
MECCANICI  
(TAGLIAERBA E  
GESDIA); COMPLETATA  
DA SPRUZZO DI

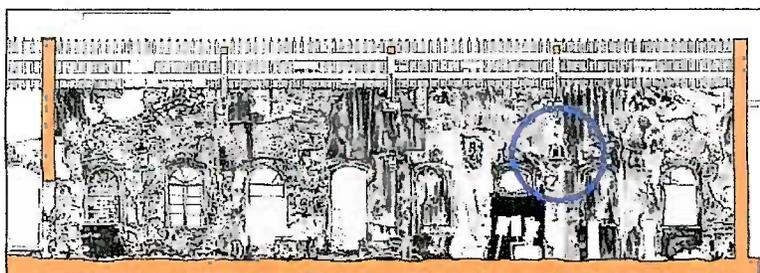
DISERBANTE. BISOGNA OPERARE ANCHE LA RIMOZIONE DELL'INTONACO E DELLA MALTA, CON METODI MANUALI COADIUVATI DA MEZZI MECCANICI, QUESTA OPERAZIONE, AVRÀ COME CONSEGUENZA L'ASPORTAZIONE ANCHE DI BUONA PARTE DELLA CROSTA NERA.

**PULITURA:** SEGUIRÀ L'OPERAZIONE DI PULITURA DELLA SUPERFICIE MURARIA TRAMITE SABBIAURA A BASSA PRESSIONE, PERÒ, NEI PUNTI IN CUI LA CROSTA NERA HA INTACCATO DIRETTAMENTE LA MURATURA SARÀ PIÙ SICURO RICORRERE A IMPACCHI DI SOSTANZE AD AZIONE BIOCIDA.

LE OPERAZIONI DI PULITURA SI COMPLETERANNO MEDIANTE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), MOLTO IMPORTANTE PERCHÉ OLTRE A LAVARE LA SUPERFICIE MURARIA NE ELIMINERÀ I RESIDUI DELLA SOSTANZA CORROSIVA A PH ACIDO.

**RIPRISTINO:** SIA IL RIPRISTINO DELL'INTONACO CHE DELLA RETE DI SMALTIMENTO DELL'ACQUE PIOVANE SONO INTERVENTI PREVISTI PER TUTTO L'EDIFICIO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



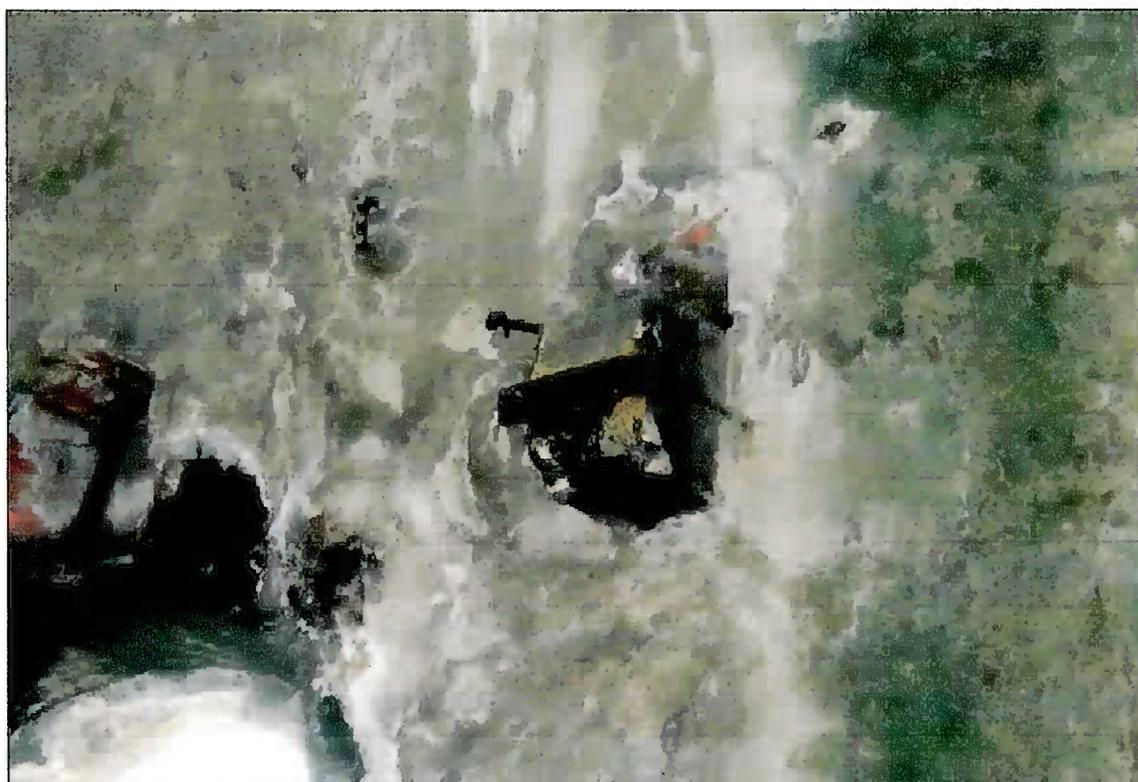
SCHEDA N°

**20**



**LUGLIO 2003**

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO E MATERIALI:** STAFFA IN METALLO SU MENSOLA IN MARMO.

**TECNICA COSTRUTTIVA:** INTEGRAZIONE DI MALTA CEMENTIZIA SU UNA PARETE IN MURATURA MISTA IN PIETRAMME LOCALE.

LA PRESENZA DELLA STAFFA È DOVUTA AD UN VECCHIO INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLA MENSOLA IN MARMO.

LA MENSOLA VENNE FASCIATA SUI LATI TRAMITE DUE STAFFE PASSANTI, VENNERO APPLICATE DUE PIASTRE DI RIPARTIZIONE, UNA INTERNAMENTE ALL'EDIFICIO, L'ALTRA SULL'ESTERNO; SUCCESSIVAMENTE IL TUTTO VENNE

FISSATO E MESSO IN TENSIONE TRAMITE DUE GROSSI BULLONI.

### **ANALISI DEL DEGRADO:**

IL FERRO DELLA STAFFA, GRAZIE ALL'ABBONDANTE UMIDITÀ CHE CARATTERIZZA SPECIALMENTE QUESTA ZONA DELL'EDIFICIO (PRESENZA PESCATORA; ESPOSIZIONE SETTENTRIONALE) SI È MAN MANO DETERIORATO, FINO A RICOPRIRSI COMPLETAMENTE DI RUGGINE. DI CONSEGUENZA LA STAFFA, A CAUSA DEL FENOMENO DI RUSCELLAMENTO DELL'ACQUA, HA MACCHIATO IL MARMO DELLA MENSOLA CON I SUOI COLATICCI RUGGINOSI.

LA MENSOLA INOLTRE PRESENTA ALTRI DEPOSITI SUPERFICIALI E ANCHE MACCHIE DI GRASSO.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

L'INTERVENTO VERRÀ DIVISO IN DUE PARTI, LA PRIMA DI CARATTERE STRUTTURALE E LA SECONDA DI TIPO CONSERVATIVO.

**RIMOZIONE:** DOPO AVER PUNTELLATO LA MENSOLA SI ELIMINERÀ LA VECCHIA STAFFATURA METALLICA.

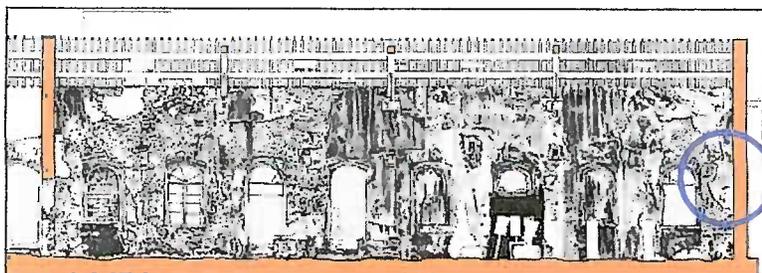
**CONSOLIDAMENTO:** SI PROCEDERÀ AL CONSOLIDAMENTO TRAMITE TRAPANATURA E SUCCESSIVO INSERIMENTO DI PERNI FISSATI CON RESINE.

LA SECONDA PARTE DELL'INTERVENTO CONSISTE:

**PULITURA:** DELLA SUPERFICIE MARMOREA TRAMITE MICROSABBIATURA DI PRECISIONE; MENTRE PER ELIMINARE LE MACCHIE DI RUGGINE SARÀ NECESSARIO PROCEDERE AD APPLICAZIONI DI IMPACCHI DI FLORURO DI AMMONIO A PH NEUTRO.

**CONSOLIDAMENTO:** SI STUCCHERÀ LA FRATTURA IMPIEGANDO RESINE POLIMERICHE.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

21



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:**  
INTONACO.

**MATERIALI:**  
MALTA DI CALCE  
AEREA,

**TECNICHE  
COSTRUTTIVE:**  
DALL'IMMAGINE SONO  
RICONOSCIBILI I TRE  
STRATI DI CUI È  
COMPOSTO:  
(PARTENDO  
DALL'ESTERNO)  
FINITURA; ARRICCIO;  
RINZAFFO.

**ANALISI DEL  
DEGRADO:**  
RIGONFIAMENTO  
DELLO STRATO DI  
FINITURA (IL PIÙ  
ESTERNO) E  
DISTACCO TOTALE O  
PARZIALE DEGLI  
STRATI D'INTONACO.  
IL RIGONFIAMENTO È  
IL SOLLEVAMENTO  
SUPERFICIALE E  
LOCALIZZATO  
DELL'INTONACO, CHE  
ASSUME FORMA E  
CONSISTENZA  
VARIABILI.

È QUEL FENOMENO DI DEGRADO CHE, DI SOLITO, PRECEDE IL DISTACCO. DI SOLITO HA ORIGINE A CAUSA DELL'UMIDITÀ; L'ACQUA PRECEDENTEMENTE ASSORBITA DALLA MURATURA, EVAPORANDO, GENERA IL SOLLEVAMENTO DEGLI STRATI D'INTONACO A CUI SEGUE LA CADUTA DEGLI STESSI.

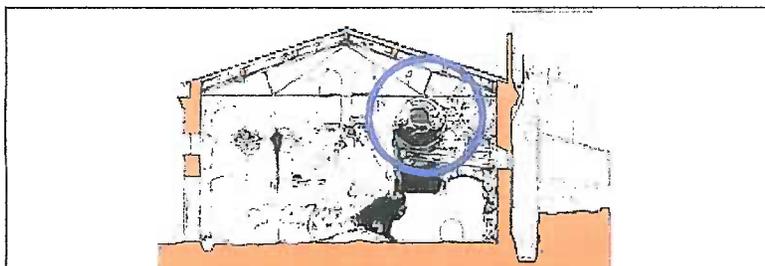
### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** DEGLI STRATI RESIDUI: ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI, POTREBBE ESSERE UTILIZZATA ANCHE ACQUA A SPRUZZO AD ALTA PRESSIONE (500 ATM), METODO CHE COMUNQUE NON RISULTA ABRASIVO NEI CONFRONTI DELLA SOTTOSTANTE MURATURA.

**PULITURA:** PER ELIMINARE COMPLETAMENTE ANCHE I RESIDUI PIÙ PICCOLI D'INTONACO È NECESSARIO ADOTTARE SUCCESSIVAMENTE METODI DI MAGGIORE PRECISIONE, QUALI LE SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA. INOLTRE PRIMA DI APPRESTARSI ALLA RICOSTRUZIONE DELL'INTONACO, COMPIERE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE ANCHE LE POLVERI PRODOTTE DALLE OPERAZIONI PRECEDENTI.

**RIPRISTINO:** LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (CIDÈ NUOVAMENTE MALTA DI CALCE IDRAULICA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURD.



SCHEDA N°

**22**

**LUGLIO 2003**

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** SOLCO CIRCOLARE SULL'INTONACO, PROVOCATO DAL MOVIMENTO ROTATORIO DEL VOLANO.

**FUNZIONE DEL VOLANO:** NEL PRIMO PERIODO DEI TELAI AD ENERGIA ELETTRICA ERANO FREQUENTI DELLE INTERRUZIONI ENERGETICHE, A CAUSA DELL'INADEGUATEZZA DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE. I TELAI QUINDI SI FERMAVANO, PER EVITARE CHE LE LAME RIMANESSERO A METÀ TAGLIO (CIOÈ ALL'INTERNO DEL BLOCCO), SI UTILIZZAVA UN SISTEMA COMPOSTO DA UNA TRASMISSIONE E DA UN GROSSO VOLANO MOLTO PESANTE CHE CONTINUANDO A GIRARE GRAZIE ALLA SUA INERZIA DAVA AGLI OPERAI IL TEMPO SOLLEVARE LE

LAME DAL TAGLIO. IN SINTESI, TRAMITE L'ENERGIA ELETTRICA, TUTTI GLI ORGANI DI TRASMISSIONE FUNZIONAVANO E GIRAVA ANCHE IL VOLANO, POI QUANDO L'ENERGIA ELETTRICA SALTAVA, TUTTA LA SEGHERIA SI FERMAVA TRANNE IL VOLANO CHE GRAZIE ALLA SUA FORZA D'INERZIA CONTINUAVA A GIRARE E A MUOVERE IL SUO APPARATO DI TRASMISSIONE PER CIRCA TRE MINUTI, IN QUESTO TEMPO GLI OPERAI SOLLEVAVANO LE LAME.

**ANALISI DEL DEGRADO:** IL FENOMENO DI DEGRADO OGGETTO DELLA SCHEDA È QUELLO DI EROSIONE PER ABRASIONE, MA È INTERESSANTE ANCHE OSSERVARE LE MACCHIE SCURE (CARATTERISTICHE DI QUESTA SEGHERIA) CHE RICOPRONO GROSSE PORZIONI DI PARETE. SONO MACCHIE DI GRASSO E SI TROVANO SOLITAMENTE IN CORRISPONDENZA DEI FORI, NELLA MURATURA, DOVE APPOGGIAVANO GLI ALBERI DI TRASMISSIONE DEI MACCHINARI; IL GRASSO VENIVA COLATO NEL CARDINE COME LUBRIFICANTE.

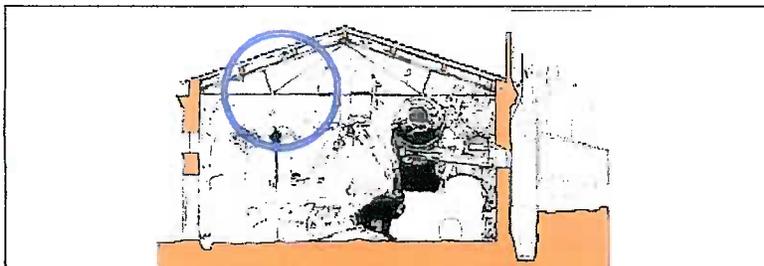
### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**RIMOZIONE:** DEGLI STRATI RESIDUI: ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI, POTREBBE ESSERE UTILIZZATA ANCHE ACQUA A SPRUZZO AD ALTA PRESSIONE (500 ATM), METODO CHE COMUNQUE NON RISULTA ABRASIVO NEI CONFRONTI DELLA SOTTOSTANTE MURATURA.

**PULITURA:** PER ELIMINARE COMPLETAMENTE ANCHE I RESIDUI PIÙ PICCOLI D'INTONACO È NECESSARIO ADOTTARE SUCCESSIVAMENTE METODI DI MAGGIORE PRECISIONE, QUALI LE SABBIATURE A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM), CON POLVERI A GRANULOMETRIA <0,15 MM E DI DUREZZA CONFRONTABILE CON QUELLA DEI MINERALI COSTITUENTI IL MATERIALE LAPIDEO DELLA MURATURA. INOLTRE PRIMA DI APPRESTARSI ALLA RICOSTRUZIONE DELL'INTONACO, COMPIERE UN LAVAGGIO CON ACQUA A SPRUZZO A BASSA PRESSIONE (MAX 2,5-3 ATM) PER RIMUOVERE ANCHE LE POLVERI PRODOTTE DALLE OPERAZIONI PRECEDENTI.

**RIPRISTINO:** LA PARETE È COSÌ PRONTA PER LA STESURA DI UN NUOVO INTONACO, CHE VERRÀ ESEGUITO SECONDO LE ORIGINALI TECNICHE COSTRUTTIVE E MATERIALI (CIÒÈ NUOVAMENTE MALTA DI CALCE AEREA).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

23

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** PARTICOLARE CAPRIATA. PRESENTA UNA FORMA PARTICOLARE CHE CORRISPONDE AL TIPO FRANCESE, DETTA POLONCEAU.

**MATERIALI:** LEGNO E METALLO. LA CAPRIATA È REALIZZATA IN MATERIALI MISTI: SOLO I PUNTONI SONO IN LEGNO, PITCH-PINE, LA CATENA E TUTTI GLI ALTRI ELEMENTI SONO IN METALLO.

**ANALISI DEL DEGRADO:** BISOGNA PRIMA PRECISARE CHE NON È STATO POSSIBILE COMPIERE UN'ANALISI PRECISA PER GLI ELEMENTI CHE

COMPONGONO LA COPERTURA, DATA L'ALTEZZA DI QUEST'ULTIMA. LE CONCLUSIONI TRATTE DALL'INDAGINE VISIVA A DISTANZA, RIVELANO, NEL COMPLESSO, UN BUONO STATO DI CONSERVAZIONE DEI MATERIALI.

LE CAPRIATE (COME SI È PIÙ DETTAGLIATAMENTE DESCRITTO NEI CAPITOLI RISERVATI ALLA COPERTURA) NON PRESENTANO UN PARTICOLARE DEGRADO E ANCHE SUGLI ELEMENTI METALLICI È PRESENTE SOLO UN SOTTILE STRATO DI RUGGINE.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

**PULITURA:** DEGLI ELEMENTI LIGNEI PREVEDE UNA SEMPLICE MA EFFICACE CARTEGGIATURA MANUALE (TRAMITE CARTA VETRATA).

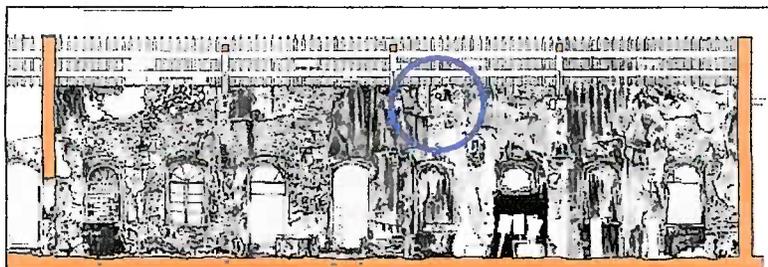
PER LA PULITURA DEGLI ELEMENTI METALLICI SI RICORRERÀ AD UNA SPAZZOLATURA MANUALE (TRAMITE SPAZZOLE METALLICHE) PER RIMUOVERE LO STRATO RUGGINOSO.

**PROTEZIONE:** PRIMA DI APPLICARE SUGLI GLI ELEMENTI LIGNEI IL TRATTAMENTO IGNIFUGO, RITENIAMO OPPORTUNO ESEGUIRE ANCHE UN'APPLICAZIONE A SPRUZZO PER NEBULIZZAZIONE DELL'INSETTICIDA (CHE È CONTEMPORANEAMENTE ANCHE FUNGICIDA) TECNICA CHE GARANTISCE UNA BUONA PENETRAZIONE SUL MATERIALE.

SUGLI ELEMENTI METALLICI SARÀ SUFFICIENTE APPLICARE O I TRADIZIONALI FONDI ANTIRUGGINE COME IL MINIO, CHE, ESSENDO PERÒ UN INIBITORE DI RUGGINE A BASE DI PIOMBO, È TOSSICO, O I PIÙ RECENTI FOSFATI DI ZINCO, DA SPALMARE IN DUE STRATI.

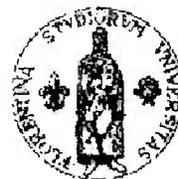
DOPODICHE' LA VERNICIATURA SI ESEGUE CON COPRENTI TRADIZIONALI A BASE DI OLII ESSICCATIVI (COME OLIO DI LINO CRUDO E COTTO).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

24



LUGLIO 2001

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28

OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** TUBO IN METALLO.

**FUNZIONE:** LA MISCELA ABRASIVA, CHE PERMETTEVA AI TELAI DI EFFETTUARE IL TAGLIO SUI BLOCCHI DI MARMO, VENIVA SOLLEVATA DALLA PESCATORA E RAGGOLTA DAL CARTER IN FERRO. GRAZIE ALLA PENDENZA DEL CARTER, QUESTA MISCELA ABRASIVA DEFLUIVA NELLO SCHIUMATORE, DAL QUALE, TRAMITE UNA TUBAZIONE METALLICA, VENIVA DISTRIBUITA SUI TELAI PER IL TAGLIO.

**ANALISI DEL DEGRADO:** TUTTA LA TUBAZIONE PRESENTA UNO SPESSO STRATO DI RUGGINE, TALE CHE SE SI FOSSE VOLUTO RIMETTERE IN FUNZIONE QUELL'ANTICO PROCEDIMENTO, SAREBBE NECESSARIO EFFETTUARE UNA RIMOZIONE E SOSTITUZIONE.

**PROPOSTA DI INTERVENTO:**

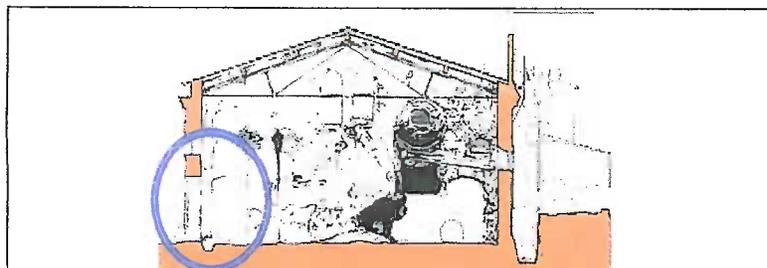
IN REALTÀ IL PROGETTO DI RIUTILIZZO, PREVEDE LA CONSERVAZIONE DI QUESTA TUBAZIONE COME TESTIMONIANZA STORICA, QUINDI SARÀ NECESSARIO EFFETTUARE UNA PULITURA DELLA SUPERFICIE.

**PULITURA:** PRIMA DI PROCEDERE ALLA STESURA DI PROTETTIVI, È NECESSARIO RIMUOVERE LO STRATO DI RUGGINE DALLA SUPERFICIE DEL METALLO. QUESTA OPERAZIONE VIENE ESEGUITA ANCHE TRAMITE L'USO DI PRODOTTI CHIMICI MA RISULTANO INAPPROPRIATI NEL NOSTRO CASO PERCHÉ TROPPO AGGRESSIVI. QUINDI PROCEDEREMO AD UNA SPAZZOLATURA LEGGERA.

**PROTEZIONE:** UNA VOLTA PULITA LA SUPERFICIE METALLICA E PRIMA DI ESEGUIRE LA VERNICIATURA, SI APPLICANO FONDI ANTIRUGGINE COME IL TRADIZIONALE MINIO (INIBITORE DI RUGGINE, A BASE DI PIOMBO E QUINDI TOSSICO) O I PIÙ RECENTI FOSFATI DI ZINCO, DA SPALMARE IN DUE STRATI. DOPPODICHÉ LA VERNICIATURA SI ESEGUE CON COPRENTI TRADIZIONALI A BASE DI OLII ESSICCATIVI (COME OLIO DI LINO CRUDO E COTTO).

QUESTA VECCHIA FOTO È UNA "TESTIMONIANZA STORICA" SUL DEGRADO DEL MANUFATTO, POICHÉ RITRAE UNA PORZIONE DI COPERTURA CHE SUCCESSIVAMENTE È CROLLATA.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
DIRES  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

25



LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28  
OBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:**

LA VEGETAZIONE INFESTANTE OLTRE AD AVVOLGERE L'EDIFICIO FINO A RENDERNE DIFFICOLTOSO L'ACCESSO, SI STA DIRAMANDO, ATTRAVERSO LE APERTURE, ANCHE ALL'INTERNO DELLA SEGHERIA. .

QUESTA VEGETAZIONE INFESTANTE È DI TIPO ERBACEO E ARBUSTIVO.

**ANALISI DEL DEGRADO:**

LA DEGRADAZIONE DEI MATERIALI PER EFFETTO DI CAUSE ESTERNE NATURALI PUÒ ESSERE DELLE PIÙ DEVASTANTI. QUESTA VEGETAZIONE ATTAGGA I MATERIALI CON I SUDI ESSUDATI. SOTTO QUESTO MANTO INOLTRE SI CREA UN ABITAT FAVOREVOLE A MICROORGANISMI, FUNGHI, LICHENI ED ANCHE INSETTI.

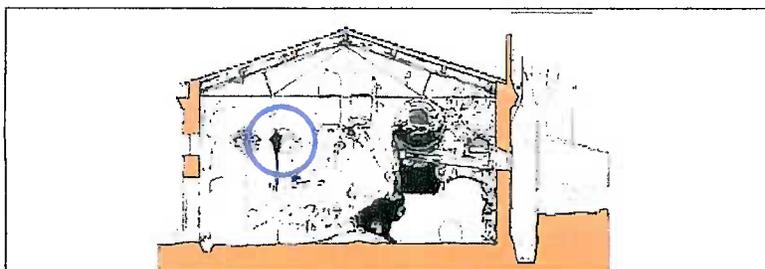
## **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

L'INTERVENTO DI DISERBAGGIO ANDRÀ EFFETTUATO IN COINCIDENZA CON IL PERIODO DI MAGGIORE ATTIVITÀ VEGETATIVA DELLA SPECIE DA COMBATTERE.

QUESTA OPERAZIONE SI BASERÀ SULL'ASPORTAZIONE MANUALE COADIUVATA DA MEZZI MECCANICI (TAGLIAERBA) DELLE STRUTTURE BIOLOGICHE.

DOPODICHÉ AFFINCHÉ LA RICRESCITA SIA OSTACOLATA, SI RICORRERÀ ALL'USO DI DISERBANTE, CIÒÈ DI UN COMPOSTO CHIMICO AD AZIONE BIODIDA. QUESTO AL MOMENTO DELL'USO, DEVE ESSERE DILUITO E VERRÀ APPLICATO MEDIANTE SPRUZZATORI DA GIARDINAGGIO.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA  
**DIRES**  
EX SEGHERIA DI MARMI FABBRICOTTI  
IPOTESI DI RIABILITAZIONE STRUTTURALE E RESTAURO.



SCHEDA N°

26

LUGLIO 2003

MACCHINA FOTOGRAFICA: CANON PRIMA SUPER 28

OBBIETTIVO: ZOOM CANON 28-70 MM F/5,6-7,8



**OGGETTO:** AGGANCIO SULLA MURATURA DELLA TRAVE DI UN SOLAIO.

UNA MANCANZA NELLA MURATURA HA MESSO IN LUCE IL PARTICOLARE DELL'AGGANCIO DELLA TRAVE DEL PICCOLO SOLAIO IN LEGNO POSTO SOPRA LA ZONA UFFICIO.

**MATERIALI:** LEGNO.

**TECNICHE COSTRUTTIVE:** É INTERESSANTE OSSERVARE COME VENNE TRATTATO QUESTO NODO STRUTTURALE MEDIANTE L'INSERIMENTO DI UNA

LASTRA DI MARMO CON FUNZIONE DI DORMIENTE E IL SUCCESSIVO RIEMPIMENTO DELLO SCASSO CON MATTONI PIENI.

### **PROPOSTA DI INTERVENTO:**

IL PROGETTO PREVEDE LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SOLAIO DI DIMENSIONI MAGGIORI, QUINDI SI DOVRÀ PROCEDERE ALLO SMANTELLAMENTO DEL VECCHIO E AL RIPRISTINO DELLA MURATURA MEDIANTE LA TECNICA DEL "CUCI-SCUCI".

SI PROCEDERÀ AD UNA PULITURA DELLO SCASSO RIMOVEDO EVENTUALI MATTONI E PIETRE SPEZZATE, IN MODO DA OTTENERE UN BUON SUPPORTO PER LA POSA IN OPERA DEL MATERIALE DI RIPRISTINO.

LA FASE DI PULITURA SI CONCLUDERÀ CON PRIMA UNA SABBIAURA A BASSA PRESSIONE E POI UN LAVAGGIO CON ACQUA A BASSA PRESSIONE.

PER ULTIMO SI STENDERÀ L'INTONACO, SEMPRE TRAMITE MATERIALI E TECNICHE TRADIZIONALI.

## Bibliografia:

### Testi di riferimento sul restauro, diagnosi dissesti, consolidamento e calcolo strutturale (ordine alfabetico):

- CENTRO STUDI “SISTO. MASTRODICASA” e ORDINE DEGLI INGEGNERI della Provincia di Pisa, Dispense, *Diagnosi e sicurezza delle costruzioni in muratura*, Corso di aggiornamento 14-15 Aprile 2003.
- G. COLOMBO, *Manuale dell'ingegnere*, Hoepli, Milano. 1973
- G. CONTORNI, *Conservazione edilizia e tecnologica del restauro*, Dispense, A.A. 1996-7.
- A. DEL BUFALO, *Conservazione edilizia e tecnologica del restauro*, Roma, edizioni Kappa, 1992.
- M. DEZZI BARDESCHI, *Restauro: punto e a capo*, Milano, Angeli, 1991.
- S. DI PASQUALE C. MESSINA L. PAOLINI B. FURIOZZI, *Costruzioni: calcolo degli elementi strutturali*, vol. II, Firenze, Le Monnier, nuova edizione 2002.
- B. FURIOZZI C. MESSINA L. PAOLINI, *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, Firenze, Le Monnier, 1983.
- B. FURIOZZI C. MESSINA L. PAOLINI, *Prontuario per il calcolo degli elementi strutturali*, Firenze, Le Monnier, nuova edizione 2003.
- F. GURRIERI, *La tramvia Lucca-Pescia*, Firenze, Electa, 1988.
- F. GURRIERI, *Restauro e conservazione*, Firenze, Edizioni Polistampa, 1992.
- F. GURRIERI, *Il degrado della città d'arte*, Firenze, Edizioni Polistampa, 1998.
- F. GURRIERI (a cura di), *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, Roma, Tipografia del Genio Civile, prima ristampa 1999.
- S. MASTRODICASA, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Milano, Hoepli, Ristampa 1993.
- L. NIZZI GRIFI, *Restauro statico dei monumenti. Diagnosi e consolidamento*, Firenze, Alinea, 1993.
- G. ROCCHI, *Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali*, Milano, Hoepli, 1990.
- P. ROCCHI, *Progettare il consolidamento*, Roma, Kappa, 1989.
- P. ROCCHI, *Manuale del consolidamento contributo alla nascente trattatistica*, Roma, Kappa, 1989.
- P. ROCCHI (direttore scientifico), *Trattato sul Consolidamento*, Roma, Mancosu Editore, 2003.
- G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture in legno*, Milano, Hoepli, 1996.

- S. VAN RIEL, *Appunti sulla normativa in zona sismica. Rilievo strutturale, adattamento e consolidamento*, Firenze, Centro Stampa AZ, 2000.