
committente



FONDAZIONE IRCCS CA' GRANDA
OSPEDALE MAGGIORE POLICLINICO

Sistema Sanitario  Regione
Lombardia

via Francesco Sforza 28
20121 Milano

progetto



LUSSIGNOLI ASSOCIATI
Società di ingegneria S.R.L.
arch. Luciano Lussignoli, arch. Fabrizio Bonomi,
geom. Claudio Favalli, arch. Francesco Mazzeo

25125 Brescia, via Corsica 118
C.F./P.Iva 02931660985 - REA BS490852
tel. 0302428139 - fax 0302478672
studio@la-associati.com

direttore tecnico
arch. Luciano Lussignoli

progettista
arch. Luciano Lussignoli, arch. Fabrizio Bonomi

coordinatore del progetto
arch. Fabrizio Bonomi

collaboratori
arch. Milena Codenotti, ing. Pierluigi Maranesi,
ing. Andrea Moreschi, ing. Annamaria Plebani,
arch. Maria Laura Tonni, arch. Michela Vieno

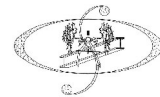
consulenti per il progetto



arch. Mariangela CARLESSI
24022 - Alzano Lombardo (Bg)
via Giuseppe Mazzini 55
www.buildingcc.com

arch. Alessandra KLUZER
20123 - Milano
via Aurelio Saffi 23
www.buildingcc.com

consulente per il consolidamento strutturale



Development & Project
ing. Davide PINI
24123 - Bergamo, via E. Rossi 6
tel. 035 216671
studio.davidepini@gmail.com

INTERVENTI PER LA CONSERVAZIONE DELLA CRIPTA E DEL SACELLO DEI CADUTI DELLE CINQUE GIORNATE DI MILANO

CHIESA DELLA B.V. ANNUNCIATA, OSPEDALE MAGGIORE DI MILANO



fase
PROGETTO DEFINITIVO

elaborato
**RELAZIONE SPECIALISTICA
STRUTTURA PER L'ALLESTIMENTO
DEL LAPIDARIO**

progetto n°
282

data
30/09/2011

modifica n°
001

data modifica
25/11/2011

esecutore
PRLMRS

revisore
BNMFRZ

archiviazione
282_RS_LAPIDARIO.pdf

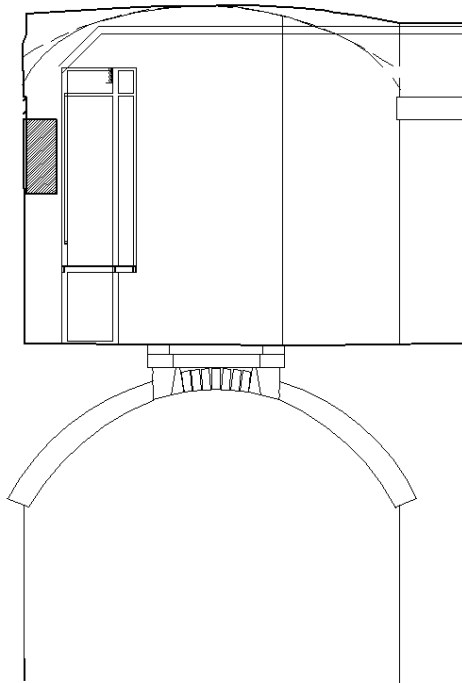
INDICE:

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | PREMESSA | 1 |
| 1.1 | DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI UTILI | 2 |
| 2 | MATERIALI | 3 |
| 2.1 | MATTONI PIENI | 3 |
| 2.2 | ACCIAIO DA CARPENTERIA S235JR | 3 |
| 2.3 | VERIFICA DELLA VOLTA..... | 4 |
| 2.4 | VERIFICA DEGLI ESPOSITORI IN ACCIAIO PER LE LAPIDI..... | 6 |
| 3 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 10 |

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione di calcolo è la verifica statica della volte a botte che coprono una porzione della cripta all'interno del complesso dell'ospedale maggiore di Milano.

L'obiettivo è capire se la volta è in grado di sopportare senza limitazioni il carico indotto dalla nuova destinazione d'uso prevista al piano superiore. Nella sala superiore è prevista l'esposizione di lapidi in marmo (carico stimato attorno a 1000 Kg/mq) su una porzione delle volte, più precisamente sulla parte sinistra della vista in sezione qui sotto riportata.



Sezione della volta oggetto di verifica

1.1 DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI UTILI

L'area espositiva è soggetta a carico di categoria C3 (ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, come da NTC 2008) che prevede un sovraccarico utile pari a 500 daN/mq. Gli altri carichi sono riportati di seguito:

Analisi dei carichi:

| | sp. [cm] | γ [daN/mc] | peso [daN/mq] |
|-----------------------|-------------|----------------------|------------------|
| Pavimento in mattoni | 15 | 1800 | 270 |
| Rinfianco della volta | var | 1500 | var |
| Arco in mattoni | 15 | 1600 | 180 |
| | | TOT = | 450 |
| accidentale | | | 500 |
| | | TOT = | 950 |

Con l'attenzione di dover aggiungere il carico dei rinfianchi (in chiave ha un'altezza pari a 15cm circa)

La zona destinata all'appoggio delle lapidi è soggetta ad un carico accidentale stimabile all'incirca in 1000 Kg/mq. I rimanenti carichi non cambiano pertanto si ha:

Analisi dei carichi:

| | sp. [cm] | γ [daN/mc] | peso [daN/mq] |
|-----------------------|-------------|----------------------|------------------|
| Pavimento in mattoni | 15 | 1800 | 270 |
| Rinfianco della volta | var | 1500 | var |
| Arco in mattoni | 15 | 1600 | 180 |
| | | TOT = | 450 |
| accidentale | | | 1000 |
| | | TOT = | 1450 |

Con l'attenzione di dover aggiungere il carico dei rinfianchi (in chiave ha un'altezza pari a 15cm circa)

2 MATERIALI

2.1 MATTONI PIENI

La volta in oggetto è realizzata con mattoni pieni di laterizio risalenti al XVII° secolo. In bibliografia si trovano valori di resistenza a compressione di questi mattoni non inferiori a $8-10 \text{ Kg/cm}^2$. La circolare esplicativa riporta valori di rottura per murature in mattoni pieni variabili tra 24 Kg/cm^2 e 40 Kg/cm^2 . Appare pertanto ragionevole, anche in considerazione del fatto che non si conosce la consistenza della malta fra i corsi (la quale influisce non poco sulla resistenza del complesso mattone-malta) assumere quale tasso ammissibile di lavoro dei mattoni un valore di 10 Kg/cm^2 .

2.2 ACCIAIO DA CARPENTERIA S235JR

L'acciaio per armatura impiegato è del tipo S235JR.

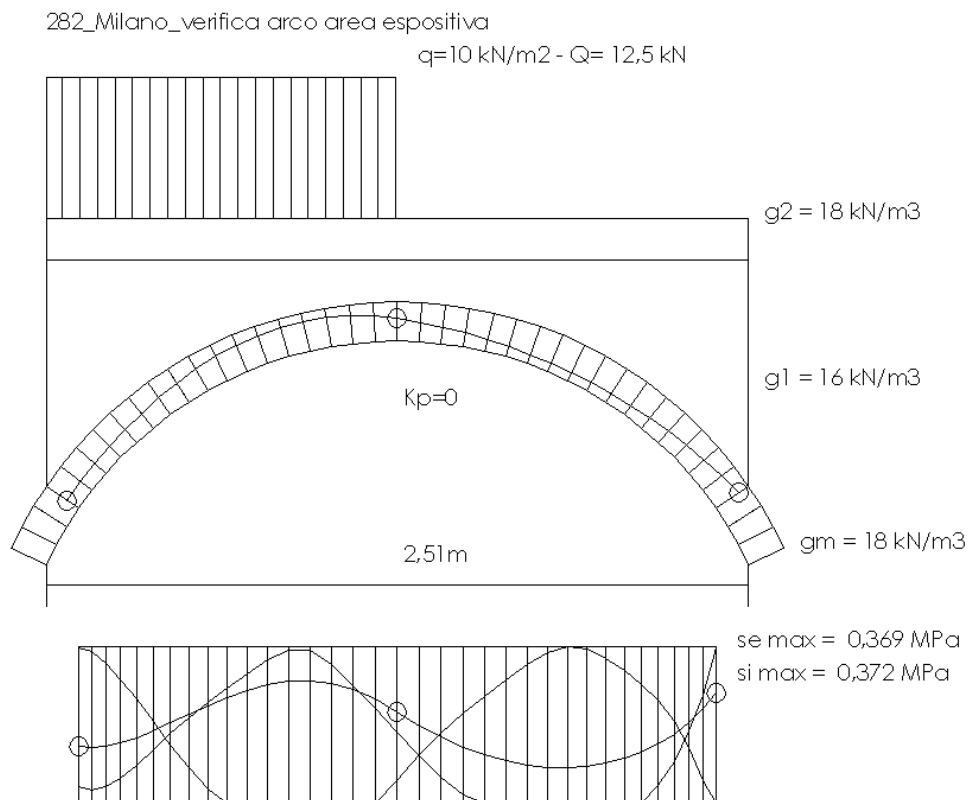
Nella seguente tabella sono riportate i valori di interesse del materiale quali la densità, le grandezze di snervamento e rottura, i valori per la definizione della duttilità e il modulo elastico.

| ACCIAIO | ρ [KN/m ³] | $f_{y, \text{nom}}$ [N/mm ²] | $f_{t, \text{nom}}$ [N/mm ²] | σ_{adm} [daN/cm ²] | $\sigma_{\text{adm}, t}$ [daN/cm ²] | γ_s | E [N/mm ²] | G [N/mm ²] | ν | α |
|-------------------|--------------------------------|---|---|---|--|------------|---------------------------|---------------------------|-------|----------------------|
| Fe 360 S 235JR | 78,5 | 235 | 360 | 1600 | 1400 | 1,05 | 2.1 E^5 | 8.01 E^5 | 0.30 | 1.0 E^{-5} |

2.3 VERIFICA DELLA VOLTA

Si riporta di seguito la verifica della volta nella condizione più sfavorevole, consistente nel carico asimmetrico, su sola metà arco del carico delle lapidi (1000Kg/m²).

Il calcolo è stato svolto secondo la teoria di Mèry.

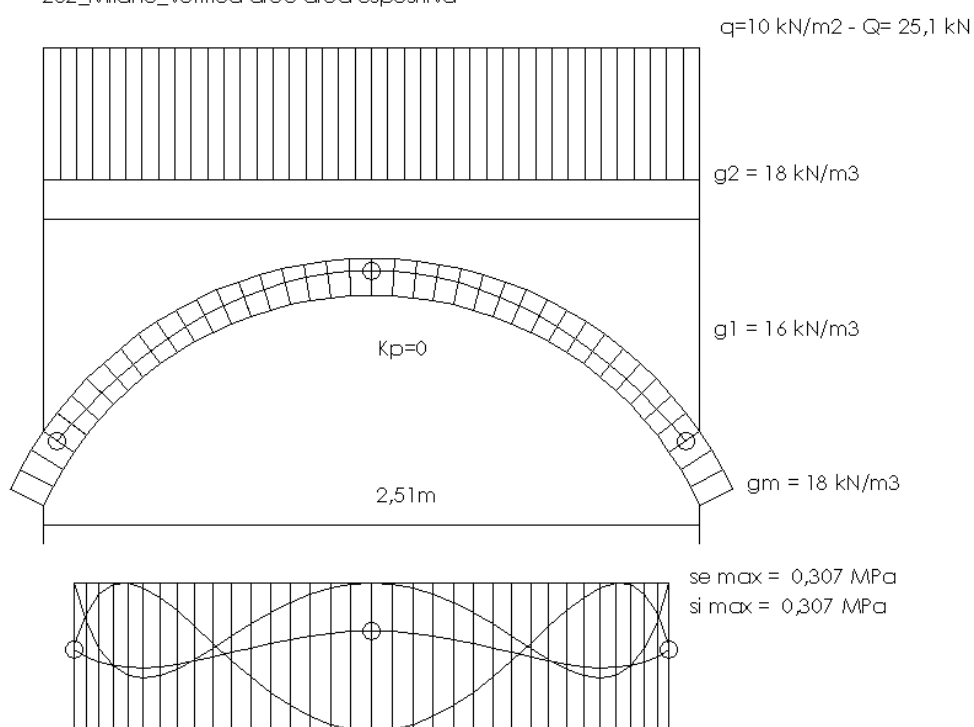


Calcolo delle pressioni nella volta

La tensione di compressione dei mattoni è pari a circa 3.72 Kg/cm² < 10 Kg/cm² → verificato

A titolo di completezza si riporta la verifica della volta nel caso di carico distribuito sulla totalità della superficie

282_Milano_verifica arco area espositiva

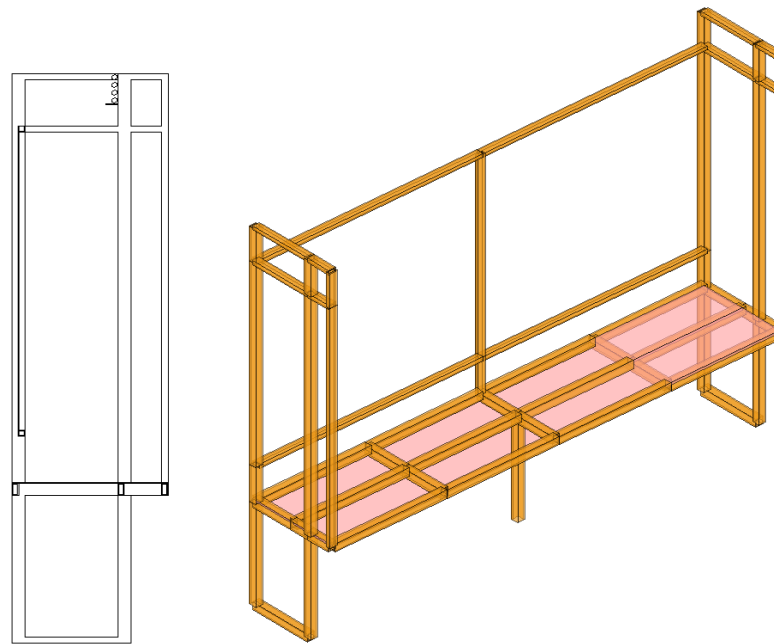


Calcolo delle pressioni nella volta

La tensione di compressione dei mattoni è pari a circa $3.07 \text{ Kg/cm}^2 < 10 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$ verificato

2.4 VERIFICA DEGLI ESPOSITORI IN ACCIAIO PER LE LAPIDI

Gli espositori in acciaio sono realizzati con tubolari in acciaio di sezioni variabili da 40x40x4 mm a 40x20x2 mm. Il carico di progetto per la loro verifica (carico limite di utilizzo indicato sui manufatti) è stato impostato pari a 500 Kg al metro lineare.



Sezione e modello 3d dell'espositore

Per la verifica si riportano un calcolo semplificato a flessione dei tubolari che reggono il piano di appoggio delle lapidi e i risultati del modello tridimensionale ad elementi finiti approntato ad hoc.

VERIFICA SEMPLIFICATA

Gli espositori sono costituiti da un telaio in acciaio, saldato in officina, la cui ossatura principale è composta da profili tubolari quadrati 40x40x4 mm. Il piano di appoggio è composto da tre tubolari affiancati sui quali si distribuisce il carico.

A base del calcolo sono stati assunti i seguenti carichi:

| | |
|--------------------------------|------------|
| Analisi dei Carichi | |
| piastra metallica (permanente) | 50 daN/m |
| Carico lapidi (accidentale) | 500 daN/m |
| | 550 daN/mq |

Da cui le sollecitazioni allo stato limite ultimo:

$$M_{sd} = (50 \times 1.3 + 500 \times 1.5) \times 1.50^2 / 8 = 229.2 \text{ daNm}$$

$$V_{sd} = (500 \times 1.3 + 500 \times 1.5) \times 1.50 / 2 = 611.25 \text{ daN}$$

I tre profili cavi affiancati danno i seguenti risultati:

3xTQ 40x40x4

$$J_x = 3 \times 11.8 = 35.4 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 3 \times 5.89 = 17.67 \text{ cm}^3$$

$$M_{rd} = 2350 / 1.05 \times 17.67 = 395 \text{ daNm} > 229.2 \rightarrow \text{verificato}$$

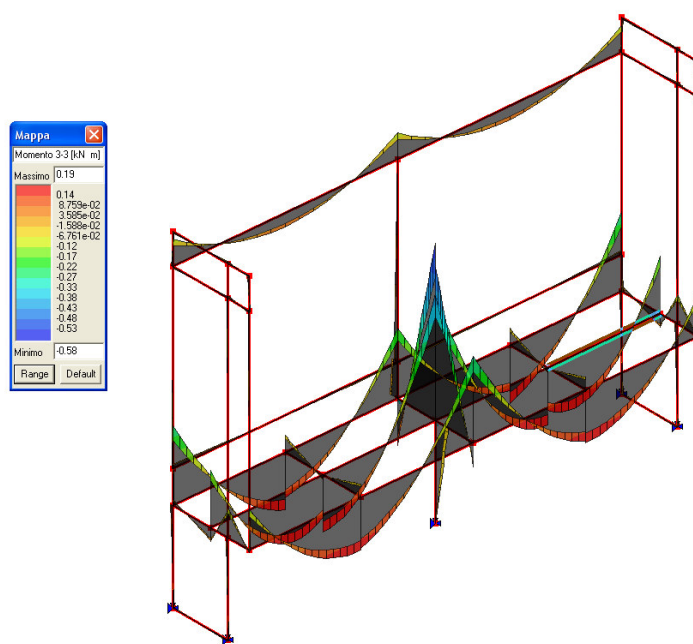
$$V_{rd} = 8 \times 2350 / (1.05 \times 1.732) = 10337 \text{ daN} > 611.25 \text{ daN} \rightarrow \text{verificato}$$

$$f = 5/384 \times (50 \times 1.3 + 500 \times 1.5) \times 1.50^4 / (21000000000 \times 35.4) = 0.72 \text{ cm}$$

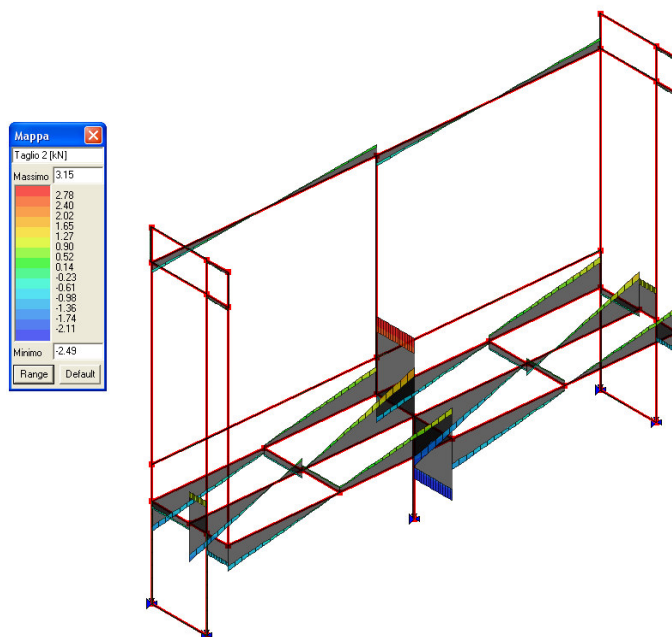
In realtà la freccia è più contenuta di quella qui calcolata con il semplice schema appoggio appoggio, si vedano i risultati del calcolo ad elementi finiti.

RISULTATI MODELLO ELEMENTI FINITI

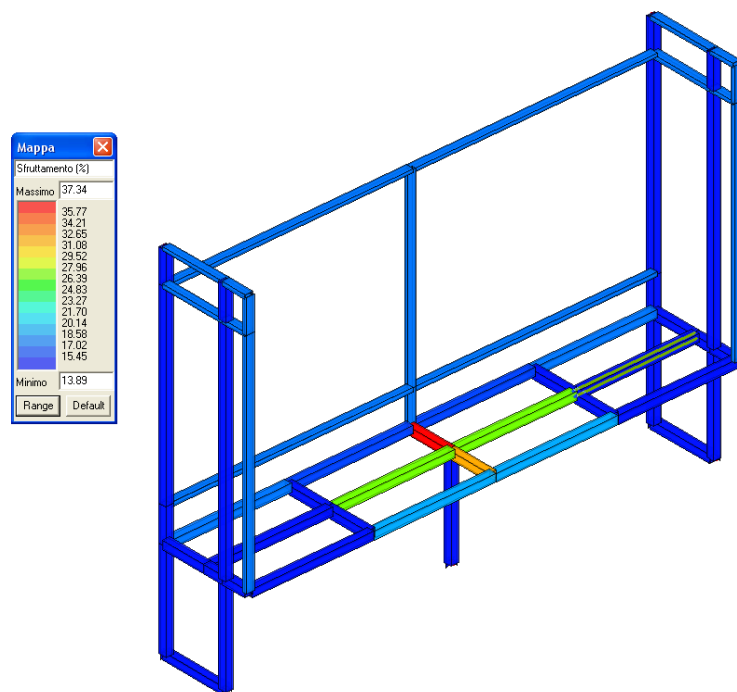
Nelle immagini a seguire si riportano lo stato di sollecitazione flessionale e a taglio della struttura (involuppo delle combinazioni di carico SLU), la verifica in base alla percentuale di sfruttamento delle sezioni, e i valori delle deformazioni in termini di fraccia relativa di ogni singolo elemento trave modellato.



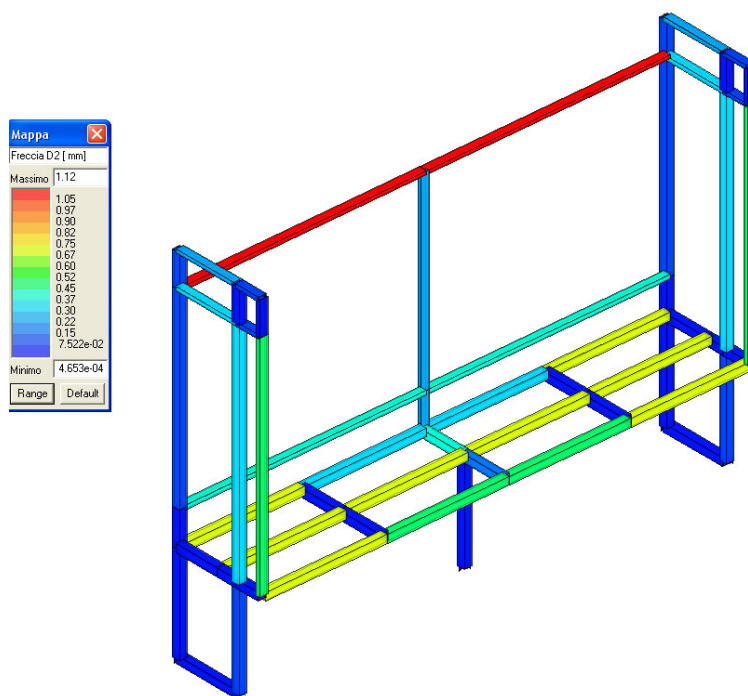
Involuppo azioni flettenti



Involuppo azioni di taglio



% sfruttamento sezioni



Deformazioni - freccie

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.Min. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 14 Gennaio 2008 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".

D.M. LL.PP. 20 Novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".

Circolare 4 Gennaio 1989 n. 30787 "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modificazioni e integrazioni.

Brescia, Novembre 2011

IL PROGETTISTA
arch. Luciano Lussignoli