

# Statica per l'edilizia storica

Università degli Studi di Cagliari  
Corso di Laurea Magistrale in  
Architettura  
A.A. 2014-2015

*Prof. ing. Antonio Cazzani, Dr. ing. Flavio Stochino*

antonio.cazzani@unica.it

*<http://people.unica.it/antoniocazzani/ses/>*

*Lezione 9– La statica dell'arco (Parte 2)*

# Sommario

- Il metodo di Mery
  - Generalità
  - Modalità operative
  
- Applicazioni del metodo di Mery
  - Un arco a tutto sesto tratto dalla navata di una chiesa
  - Un arco a tutto sesto isolato
  
- Confronti con il metodo di Heyman
  - Un arco a tutto sesto
  - Un arco a sesto acuto

# Il metodo di Mery (1/8)

È un metodo di verifica a rottura degli archi basato sulla statica grafica: le approssimazioni sono legate alle ipotesi di base.

Si fonda sulle esperienze condotte all'inizio del secolo XIX da Boistard e pubblicate nel 1822 nel *Recueil d'expériences et observations* sulle modalità di collasso di archi e volte, condotte su modelli.

Questi esperimenti confermarono l'effettiva modalità di collasso secondo il meccanismo con tre lesioni indicato da Mascheroni e costituirono la base del metodo di verifica proposto da Mery nel saggio *Sur l'équilibre des voûtes en berceau* (1840, ma gli studi erano già stati completati nel 1833).

Auric in *Ponts en maçonnerie* (1911) mise in luce il carattere del metodo evidenziandone il campo di validità:

*“è un calcolo di verifica a rottura, quindi è un calcolo allo stato limite che vale se si manifesta il meccanismo di collasso ipotizzato”.*

# Il metodo di Mery (2/8)

Il metodo si applica quando sono soddisfatte queste ipotesi:

1. L'arco è a tutto sesto e di spessore costante: in questo caso è giustificato conservare la posizione delle lesioni (in chiave e alle reni) del modello di Mascheroni confermato da Boistard;
2. L'arco deve avere luce non eccessiva (indicativamente, non oltre 8-10 m) per ottenere risultati sufficientemente precisi;
3. L'arco deve essere costituito da un materiale omogeneo approssimabile con un corpo rigido: gli effetti deformativi non devono essere determinanti. Fornisce risultati accettabili per materiali lapidei e laterizi;
4. I carichi agenti devono essere simmetrici rispetto all'asse di simmetria dell'arco, così da garantire il rispetto della simmetria soluzione (e quindi delle lesioni canoniche del meccanismo di rottura);
5. Le sovrastrutture gravanti sull'arco devono dare luogo a un riempimento che possa essere considerato incoerente (nel caso questo non accada, il metodo fornisce risultati a favore di sicurezza, perché trascura l'effetto collaborante che riempimenti di materiale coerente potrebbero esibire).

Nella sua versione originale il metodo fa uso di un'applicazione reiterata della regola del parallelogramma, costruendo il poligono delle successive risultanti; nella versione di uso comune si basa sul poligono funicolare.

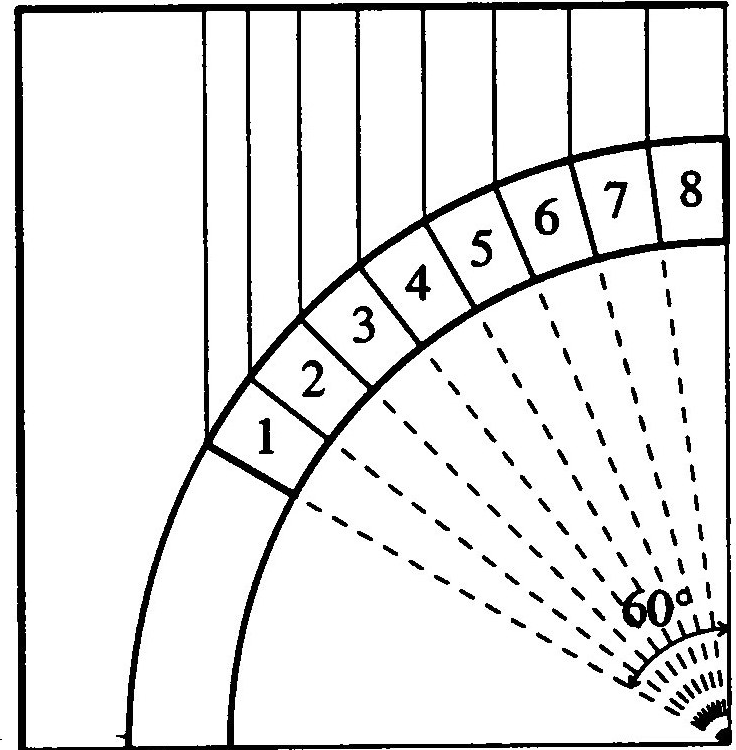
# Il metodo di Mery (3/8)

La posizione dell'arco da verificare è quella compresa nel settore fra  $30^\circ$  e  $90^\circ$ , che viene suddiviso in conci, di ampiezza costante o eventualmente variabile.

La porzione al di sotto della lesione alle reni è considerata solidale con il piedritto (autoportata)

Per avere un buon compromesso fra accuratezza e semplicità operativa, il numero di conci dovrebbe essere compreso fra 6 e 10.

È fondamentale individuare correttamente le azioni applicate all'arco dovute sia al peso proprio che a tutte le sovrastrutture (rinfianco, muratura portata, eventuali coperture e relativi sovraccarichi, ecc.



Suddivisione dell'arco, nella porzione compresa fra la chiave e una delle reni, in conci di eguale ampiezza.

(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

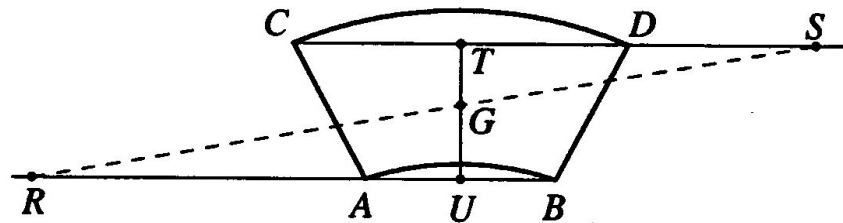
## Il metodo di Mery (4/8)

Su ciascun concio si proietta la quota parte di competenza del carico gravante sull'arco; in particolare si ritiene che le strisce così ottenute non siano collaboranti, così da porsi in condizioni di maggiore sicurezza.

Di ciascun concio e di ciascuna striscia di competenza si determina il peso proprio e si individua il baricentro, cioè il punto di applicazione del peso proprio.

Per semplicità il concio viene considerato di forma trapezia, rettificando i lati curvi e approssimandoli così a due lati rettilinei paralleli.

Per la determinazione del baricentro si può procedere con un metodo grafico, riportando la misura del segmento di estradosso sulla retta individuata dall'intradosso, determinando così il punto R; di seguito si prolunga la retta individuata dall'estradosso, in direzione opposta rispetto al punto R, della quantità pari al segmento di intradosso: ciò permette di individuare la posizione del punto S. A questo punto, se si traccia il segmento TU che congiunge i punti medi dei lati approssimanti estradosso e intradosso si ha che il baricentro G del concio risulta localizzato all'intersezione della congiungente RS con TU.



Determinazione per via grafica del baricentro di un concio.  
(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

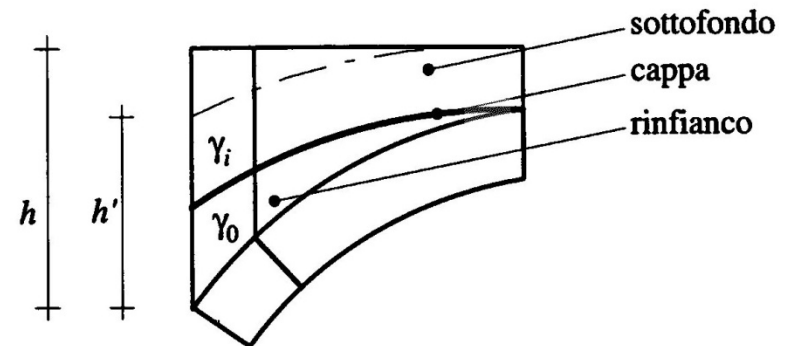
# Il metodo di Mery (5/8)

Ripetendo il procedimento per tutti i conci, e conoscendo le geometria dell'arco e il peso specifico del materiale si è in grado di associare a ogni baricentro così individuato la forza peso corrispondente. Si tratta poi di considerare le strisce di competenza di ogni concio, ripetendo il calcolo della relativa forza peso e del corrispondente baricentro.

Nel caso in cui i materiali costituenti il riempimento siano più d'uno e abbiano pesi specifici diversi, si può procedere a un'omogeneizzazione, ricavando l'altezza ideale  $h'$  di un materiale di peso specifico  $\gamma_i$  e altezza effettiva  $h$  da omogeneizzare rispetto a un materiale di peso specifico  $\gamma_0$ , imponendo che i corrispondenti sforzi prodotti siano eguali:  $h \gamma_i = h' \gamma_0$ , sicché l'altezza dello strato di materiale reso omogeneo risulta:

$$h' = h (\gamma_i / \gamma_0).$$

Si noti che  $h' < h$  se  $\gamma_0 > \gamma_i$  (cioè se il materiale effettivo è più leggero di quello omogeneizzato) e, viceversa,  $h' > h$  se  $\gamma_0 < \gamma_i$  (cioè se il materiale effettivo è più pesante di quello omogeneizzato). Dal trapezio ottenuto omogeneizzando i pesi si determina il baricentro e il peso del riempimento: a questo punto sono noti il peso del concio e quello del riempimento, quest'ultimo applicato in un punto che, in generale, non si trova sulla verticale del baricentro del concio.



Procedimento di omogeneizzazione del riempimento al materiale costituente l'arco: determinazione dell'altezza ideale a partire da quella effettiva.

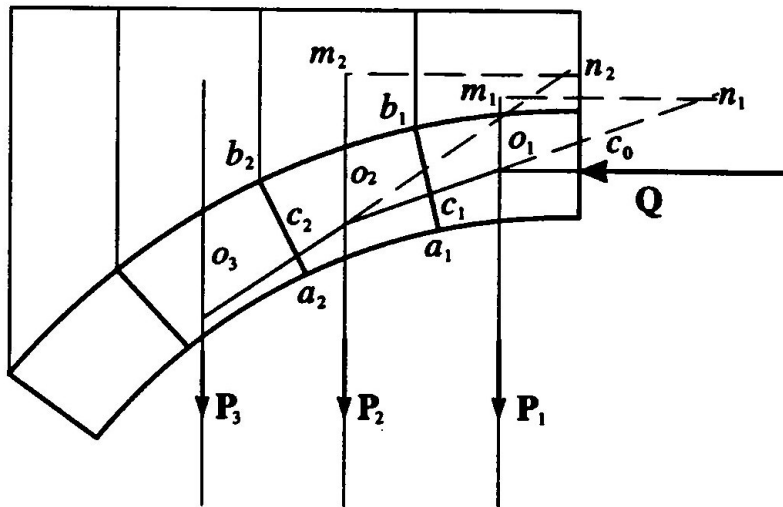
(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Il metodo di Mery (6/8)

Si noti che sulla verticale passante per il baricentro del riempimento si assumerà collocata la forza concentrata che rappresenta la porzione di sovraccarico di competenza del concio.

Noti tutti i pesi si determina la risultante delle forze agenti su ciascuna porzione (peso del concio, peso del riempimento ed eventuale sovraccarico) e la relativa retta di applicazione.

Ricondotta dunque ogni porzione a una sola forza, della quale è nota la retta d'azione, si può passare alla costruzione della curva delle pressioni applicando in modo reiterato la regola del parallelogramma a tutte le forze che via si incontrano, costruendo così il poligono delle successive risultanti.



Costruzione del poligono delle successive risultanti a partire da un valore noto della spinta in chiave  $Q$ .

(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

Allo scopo, se si calcola in base a condizioni di equilibrio del semiarco la spinta in chiave,  $Q$ , (pensata applicata al limite del terzo medio superiore e ipotizzata perfettamente orizzontale per ragioni di simmetria) basta prolungare la retta d'azione della spinta stessa fino a incontrare la forza  $P_1$  (che tiene conto di tutte le forze applicate al primo concio).

Si costruisce il triangolo delle forze riportando i segmenti  $o_1m_1$  e  $m_1n_1$  proporzionali a  $Q$  e a  $P_1$  e si ottiene così il primo lato della curva; lo si prolunga fino a incontrare  $P_2$  e si ripete poi la costruzione fino ad esaurire  $g$  i pesi  $P_i$ .

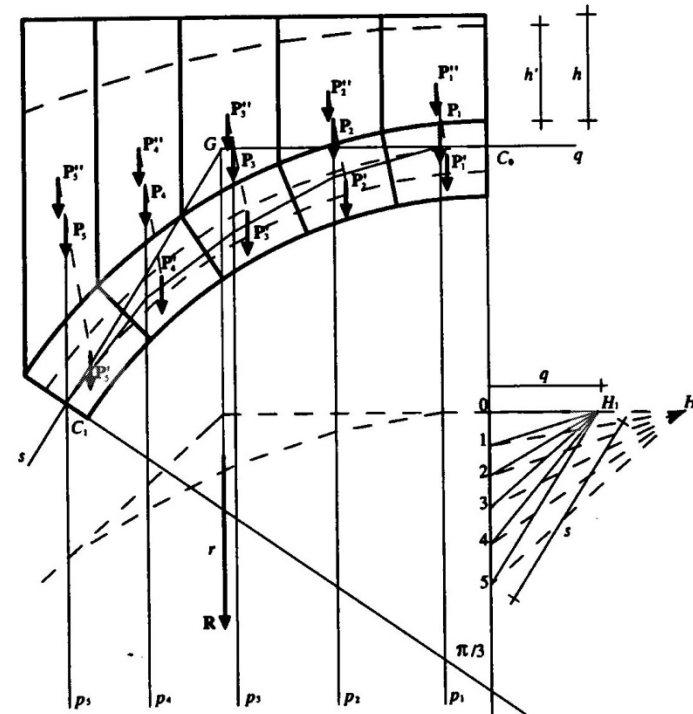
# Il metodo di Mery (7/8)

Se non è noto il valore della spinta in chiave la curva delle pressioni può essere determinata come segue: si costruisce il poligono delle forze a partire da un polo  $H$  qualsiasi (arbitrario); sia  $R$  la risultante dei pesi che competono a ciascun concio, rappresentata, per esempio, dalla forza 5-0; scelto il poligono delle forze si costruisce agevolmente il poligono funicolare e si individua così la posizione della risultante dei pesi,  $R$ .

Si impone quindi l'equilibrio dell'arco nel rispetto delle ipotesi di Mery:  $R$  deve essere equilibrata da 2 forze, una delle quali è la spinta orizzontale in chiave,  $Q$  (passante per il limite superiore del terzo medio); l'altra è la spinta alle reni,  $S$ , che passa per il limite inferiore del terzo medio.

Per equilibrio le 3 forze devono incontrarsi in un unico punto,  $G$ ; in tal modo si determinano le rette d'azione  $q$  e  $s$  di  $Q$  e  $S$ , che possono quindi essere calcolate mediante scomposizione di  $R$ .

La scomposizione di  $R$  consente di determinare il polo  $H_1$ ; il poligono funicolare individuato da questo è unico (soddisfa 3 condizioni) ed è la curva delle pressioni.



Costruzione delle curva delle pressioni quando non è noto il valore della spinta in chiave,  $Q$ .

(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Il metodo di Mery (8/8)

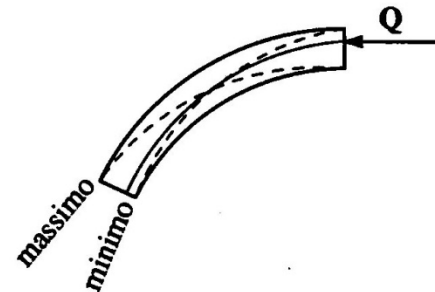
Il poligono funicolare così ottenuto rappresenta la curva delle pressioni, che descrive a livello locale e globale l'equilibrio dell'arco.

Proprietà fondamentali delle curva delle pressioni (c.d.p.):

1. La c.d.p. è determinata se sono noti 3 punti per i quali debba passare: ciò è conseguenza del fatto che il poligono funicolare passante per 3 punti è unico.
2. Se in un arco 2 c.d.p. passano per uno stesso punto, allora tutti gli altri punti comuni si trovano sull'orizzontale passante per il primo punto comune.
3. Due punti posti a quota diversa determinano una sola c.d.p.
4. Aumentando o diminuendo l'intensità della spinta in chiave la c.d.p. si alza o si abbassa.
5. Cambiando il punto di applicazione della spinta (a parità del valore di questa) la c.d.p. si sposta parallelamente a se stessa.
6. Fra tutte le possibili c.d.p. in un arco, ve ne sono 2, notevoli, che corrispondono alla minima e alla massima spinta.

Curve delle pressioni di un arco corrispondenti ai valori minimo e massimo della spinta.

(immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)



# Applicazioni (1/15)

1. Applicazioni del metodo di Mery.
  - Arco a tutto sesto tratto dalla navata di una chiesa.

L'arco è realizzato in tufo:  $\gamma_{\text{concio}} = 17 \text{ kN/m}^3$  e sostiene una muratura sovrastante di peso specifico  $\gamma_{\text{muratura}} = 21 \text{ kN/m}^3$ ; il riempimento ha ancora peso specifico  $\gamma_{\text{riemp}} = 21 \text{ kN/m}^3$ .

I dati geometrici sono: raggio  $r_i = 3,70 \text{ m}$ ; altezza  $t = 1,10 \text{ m}$ ; profondità  $s = 1,10 \text{ m}$ .

Sull'arco gravano i carichi seguenti:

1. Peso del singolo concio;
2. Peso della muratura soprastante;
3. Peso della copertura (compresa neve)
4. Peso della capriata laterale (compresa neve)

Si procede alla valutazione dei carichi complessivi.



Arco appartenente alla navata centrale di una chiesa.

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (2/15)

1. Peso del singolo concio.

Si immagina di suddividere l'arco in 10 conci di eguale ampiezza pari a  $6^\circ$ .

Il peso  $p_{\text{concio}}$  del singolo concio vale:

$$p_{\text{concio}} = A_{\text{concio}} \cdot \gamma_{\text{concio}} = 0,49 \cdot 1,10 \cdot 17000 = 9155 \text{ N},$$

poiché  $A_{\text{concio}} = \pi [(r_i + t)^2 - r_i^2] / N_{\text{conci}} = 0,49 \text{ m}^2$ .

2. Peso della muratura sovrastante l'arco (comprensiva del cornicione)

$$p_{\text{muratura}} = 325080 \text{ N}$$

3. Peso della copertura (compresa neve)

$$p_{\text{copertura}} = 97580 \text{ N}$$

4. Peso della capriata laterale (compresa neve)

$$p_{\text{capriata}} = 23950 \text{ N}$$

Si determina ora l'altezza di muratura ideale gravante su ciascun concio: trovate le altezze ideali di riempimento, muratura soprastante, copertura e capriata laterale le si sommerà per determinare il peso di ogni striscia di muratura (equivalente) gravante sui conci.

Si osserva che il riempimento è realizzato nello stesso materiale dei conci e quindi la sua altezza omogeneizzata corrisponde all'altezza effettiva; le altre altezze si determinano invece valutando lo sforzo normale, pari a  $\sigma_i = p_i / A_{\text{impronta}}$  e determinando quindi l'altezza ideale con la relazione

$\sigma_i = \gamma_i h_i$ , da cui si ricava  $h_i = \sigma_i / \gamma_i$ .

# Applicazioni (3/15)

Così facendo si trovano queste altezze ideali:

- $h_{\text{muratura}} = 2,090 \text{ m}$  (eguale per tutti i conci)
- $h_{\text{copertura}} = 0,628 \text{ m}$  (eguale per tutti i conci)
- $h_{\text{capriata}} = 0,150 \text{ m}$  (eguale per tutti i conci)

Si giunge così a determinare le altezze delle strisce ideali gravanti su ogni singolo concio: tenuto conto che queste hanno forma trapezia, di spessore  $l_i$  variabile a seconda della posizione del concio, si giunge a valutare il peso di ciascuna striscia moltiplicando l'area del trapezio per la profondità dell'arco e per il peso specifico della muratura omogeneizzata.

I risultati sono riassumibili nella tabella di seguito costruita.

Concio	Altezze [m] con $\gamma = 17000 \text{ N/m}^3$	Peso singole strisce $P_i = \frac{ia + ib}{2} \cdot l_i \cdot s \cdot \gamma$
1 - a	$2,400+2,09+0,628+0,15 = 5,268 \text{ m}$	$P_1 = 25910 \text{ N}$
1 - b	$1,979+2,09+0,628+0,15 = 4,847 \text{ m}$	
2 - a	$1,979+2,09+0,628+0,15 = 4,847 \text{ m}$	$P_2 = 27500 \text{ N}$
2 - b	$1,588+2,09+0,628+0,15 = 4,460 \text{ m}$	
3 - a	$1,588+2,09+0,628+0,15 = 4,460 \text{ m}$	$P_3 = 28400 \text{ N}$
3 - b	$1,230+2,09+0,628+0,15 = 4,098 \text{ m}$	
4 - a	$1,230+2,09+0,628+0,15 = 4,098 \text{ m}$	$P_4 = 28750 \text{ N}$
4 - b	$0,917+2,09+0,628+0,15 = 3,785 \text{ m}$	
5 - a	$0,917+2,09+0,628+0,15 = 3,785 \text{ m}$	$P_5 = 28950 \text{ N}$
5 - b	$0,640+2,09+0,628+0,15 = 3,510 \text{ m}$	
6 - a	$0,640+2,09+0,628+0,15 = 3,510 \text{ m}$	$P_6 = 28690 \text{ N}$
6 - b	$0,410+2,09+0,628+0,15 = 3,280 \text{ m}$	
7 - a	$0,410+2,09+0,628+0,15 = 3,280 \text{ m}$	$P_7 = 27980 \text{ N}$
7 - b	$0,230+2,09+0,628+0,15 = 3,100 \text{ m}$	
8 - a	$0,230+2,09+0,628+0,15 = 3,100 \text{ m}$	$P_8 = 27530 \text{ N}$
8 - b	$0,100+2,09+0,628+0,15 = 2,970 \text{ m}$	
9 - a	$0,100+2,09+0,628+0,15 = 2,970 \text{ m}$	$P_9 = 27190 \text{ N}$
9 - b	$0,026+2,09+0,628+0,15 = 2,894 \text{ m}$	
10 - a	$0,026+2,09+0,628+0,15 = 2,894 \text{ m}$	$P_{10} = 27050 \text{ N}$
10 - b	$0+2,09+0,628+0,15 = 2,868 \text{ m}$	

Tabella riassuntiva dei pesi delle strisce.  
(Tabella tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (4/15)

Sommando il peso delle singole strisce a quello dei conci si ottiene complessivamente:

$$P_1=35070 \text{ N}$$

$$P_2=36650 \text{ N}$$

$$P_3=37560 \text{ N}$$

$$P_4=37900 \text{ N}$$

$$P_5=38110 \text{ N}$$

$$P_6=37850 \text{ N}$$

$$P_7=37130 \text{ N}$$

$$P_8=36680 \text{ N}$$

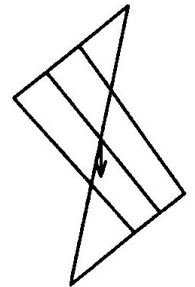
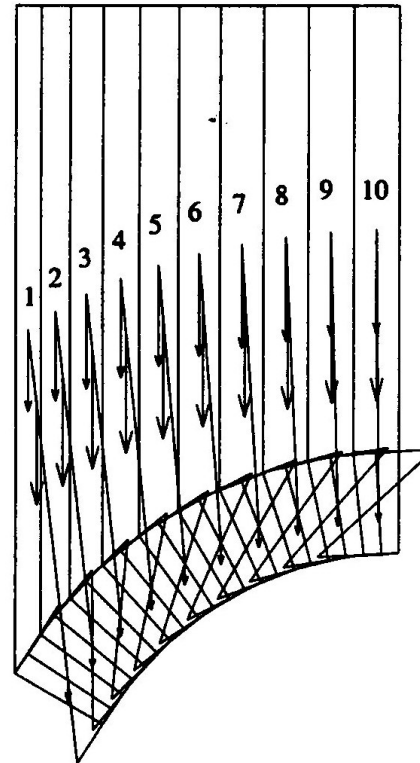
$$P_9=36350 \text{ N}$$

$$P_{10}=36200 \text{ N}$$

La risultante totale sarà pari a:

$$R=369500 \text{ N}$$

Si procede con l'applicazione del metodo di Mery:



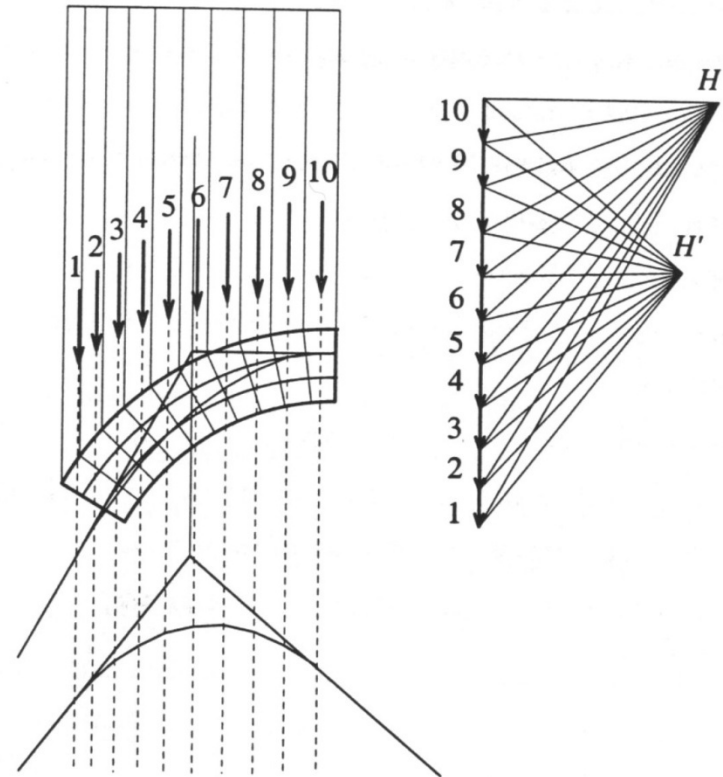
**Determinazione risultante peso striscia muratura – concio.**

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (5/15)

Nella figura si può notare:

- la suddivisione in conci della porzione di arco soggetta a verifica
- le altezze ideali di muratura
- le risultanti di ciascuna striscia di muratura
- le risultanti agenti sul singolo concio



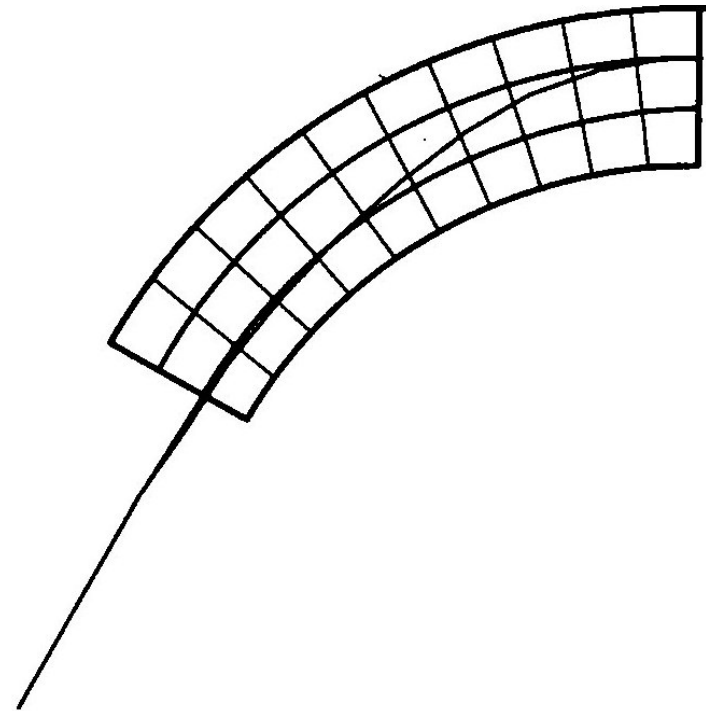
Verifica secondo il metodo Mery.

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (6/15)

La curva delle pressioni viene meglio evidenziata in questa immagine.

Tale curva risulta esterna al terzo medio per alcune sezioni, perciò quelle stesse sezioni risultano soggette a trazione e dunque la verifica a stabilità con il metodo di Mery non ha dato esito positivo.



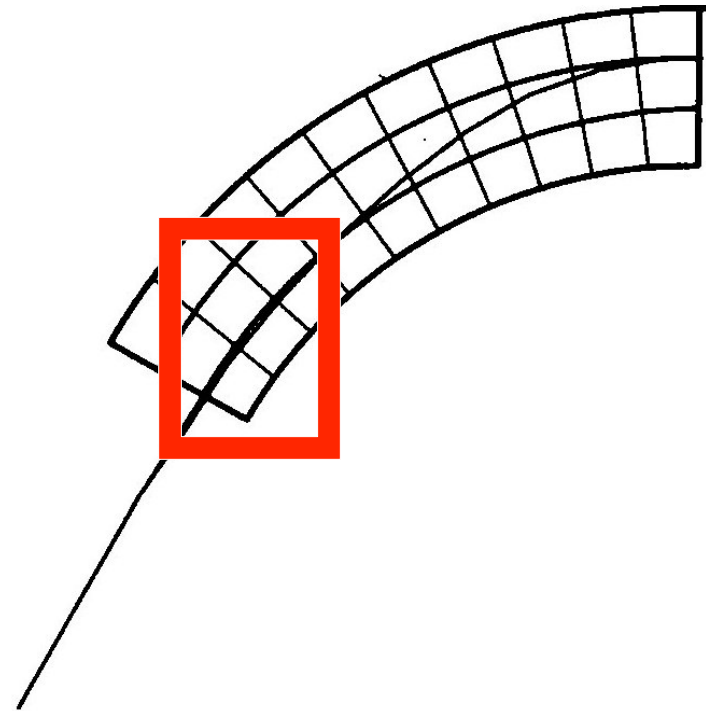
**Linea delle pressioni.**

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (7/15)

La curva delle pressioni viene meglio evidenziata in questa immagine.

Tale curva risulta esterna al terzo medio per alcune sezioni, perciò quelle stesse sezioni risultano soggette a trazione e dunque la verifica a stabilità con il metodo di Mery non ha dato esito positivo.



**Linea delle pressioni.**

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (8/15)

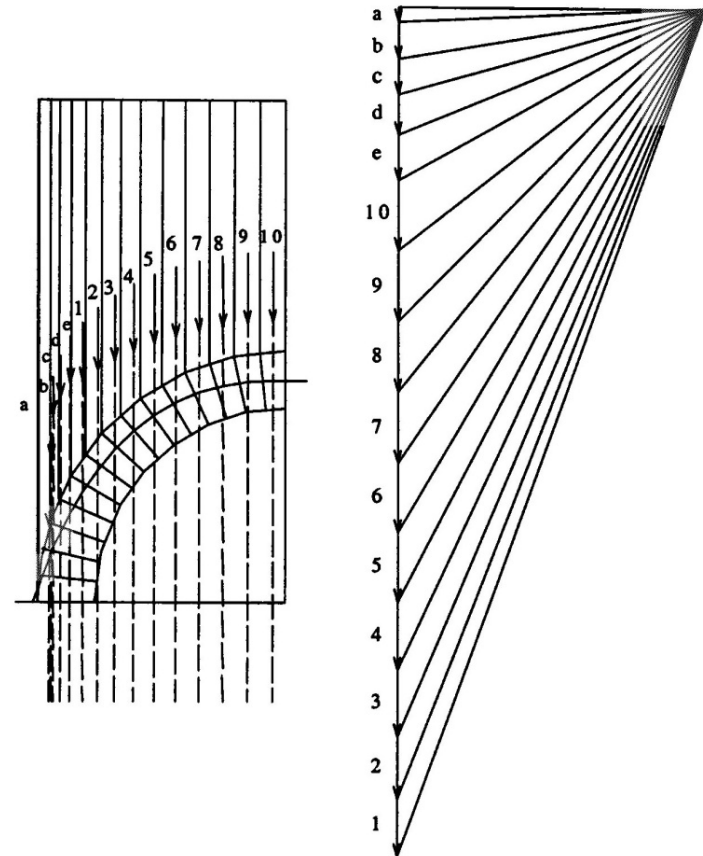
Verifica secondo Heyman

Lo stesso arco verrà verificato con il metodo di Heyman. Tale approccio è valido sia per archi a sesto acuto, sia per archi a sesto ribassato, ma anche per archi policentrici.

In sintesi il teorema di Heyman può essere così sintetizzato: *“Se esiste una linea delle pressioni, per l'intero arco, che sia in equilibrio con i carichi esterni applicati (compreso il peso proprio), e che risulti interna alla sagoma dell'arco in ogni punto, l'arco può considerarsi in condizioni di sicurezza”.*

La procedura è simile a Mery con due variazioni:

- si considera tutto il semiarco,
- non si impone il passaggio per punti prefissati.

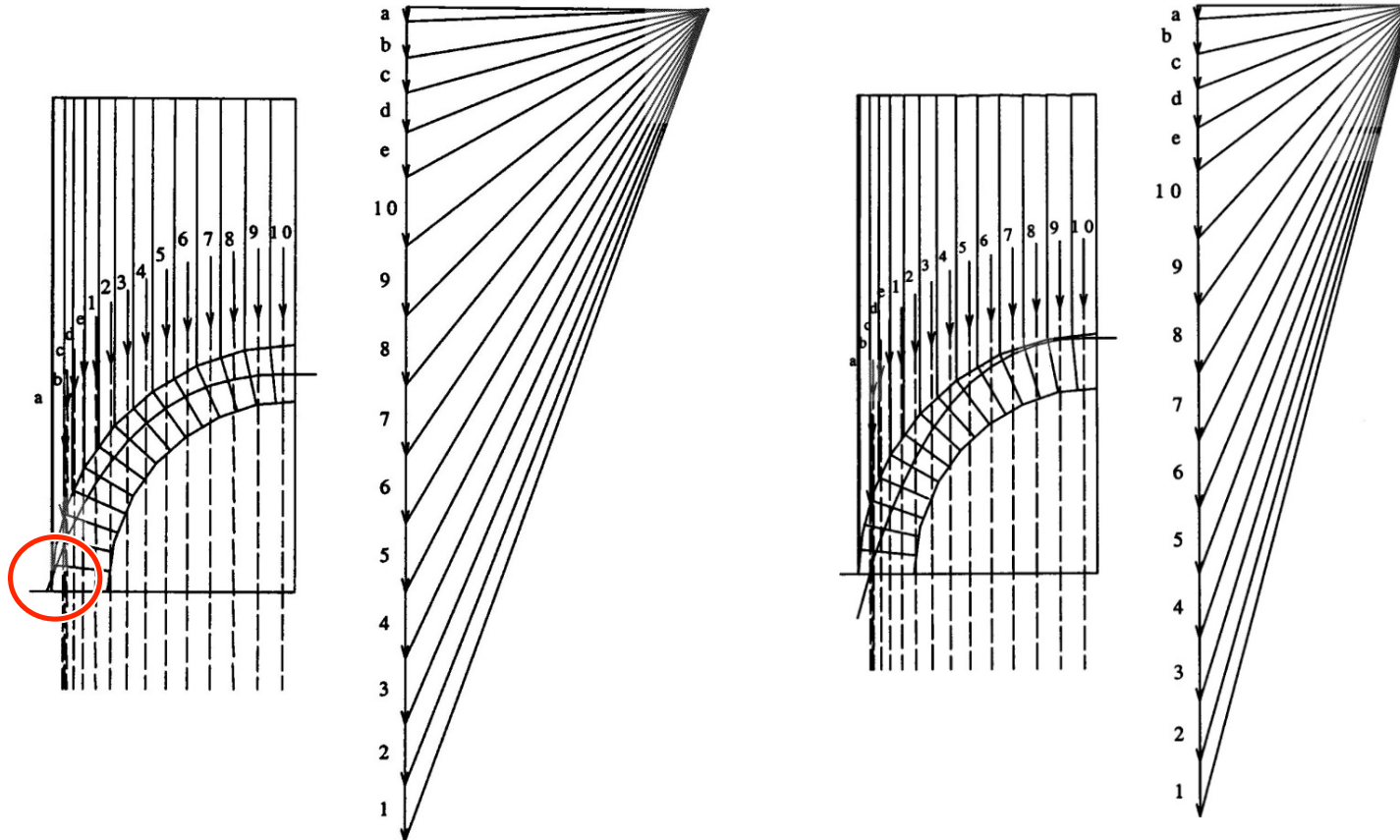


I verifica: la curva delle pressioni è esterna allo spessore dell'arco.

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (9/15)

(Immagini tratte da Olivito, *op. cit.*)



Spinta in chiave passa per il baricentro della sezione:  
*Verifica Non Superata*

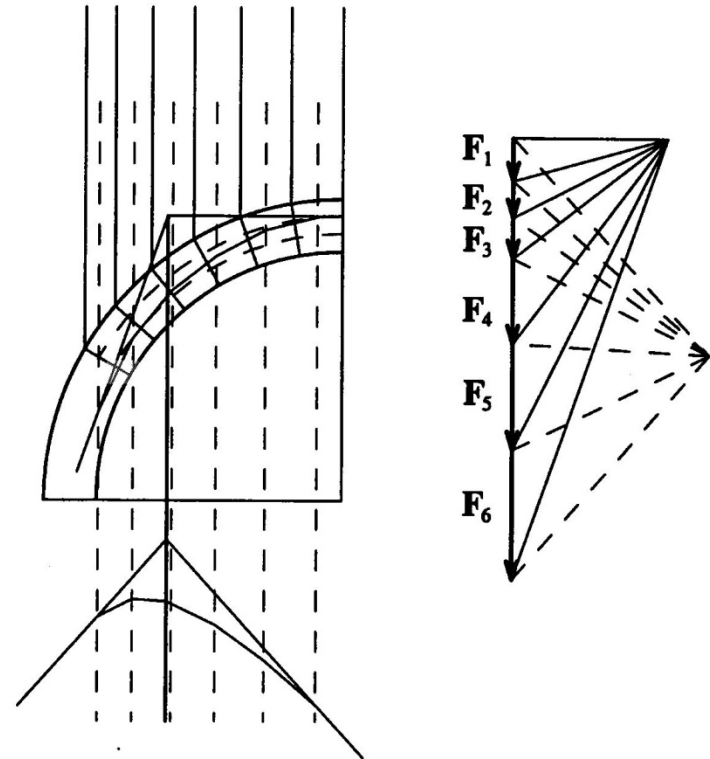
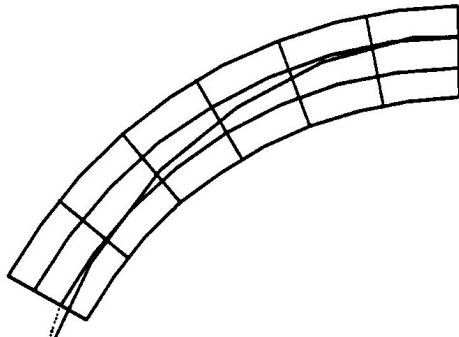
Spinta in chiave è prossima all'estradosso:  
*Verifica Superata*

# Applicazioni (10/15)

Verifica Arco a tutto sesto con metodo di Mery

Si considerino nell'analisi dei carichi il peso proprio, muri e coperture soprastanti e di rinfiaccio. Supponiamo di aver eseguito tali calcoli.

Nell'immagine si vede la rappresentazione grafica della curva delle pressioni secondo Mery. In questo caso la curva è sempre interna alle congiungenti gli estremi dei noccioli centrali d'inerzia.



Verifica secondo il metodo Mery.

(Immagini tratte da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (11/15)

Per effettuare la verifica a schiacciamento e scorrimento del singolo concio dal poligono funicolare determiniamo l'intensità della forza  $F$  agente sulla sezione di verifica.

Consideriamo un arco in muratura con malta M2,  $f_{bk} = 7,50 \text{ N/mm}^2$  da cui si desume una resistenza caratteristica della muratura  $f_k = 4.50 \text{ N/mm}^2$ .

La resistenza di progetto sarà:

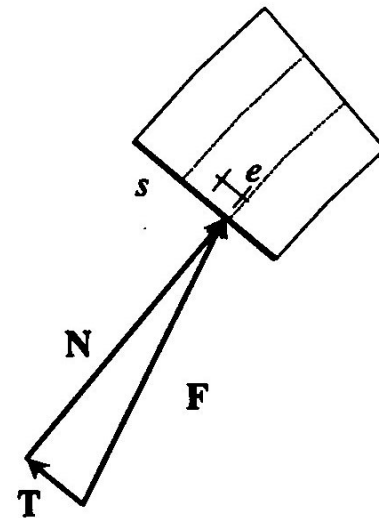
$$f_d = 4.5/3 = 1.5 \text{ N/mm}^2$$

I dati relativi alla sezione da verificare sono:

$s = 60 \text{ cm}$  (spessore arco)

$b = 70 \text{ cm}$  (larghezza sezione)

$e = 6.7 \text{ cm}$



**Forza agente sulla sezione da verificare.**

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (12/15)

Dopo le opportune proiezioni:

$$N = 8860 \text{ N}$$

$$T = 2080 \text{ N}$$

Poiché l'eccentricità è sufficientemente piccola le tensioni di compressione valgono:

$$\sigma_{\max} = N / (b \cdot s) (1 + 6e/s) = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

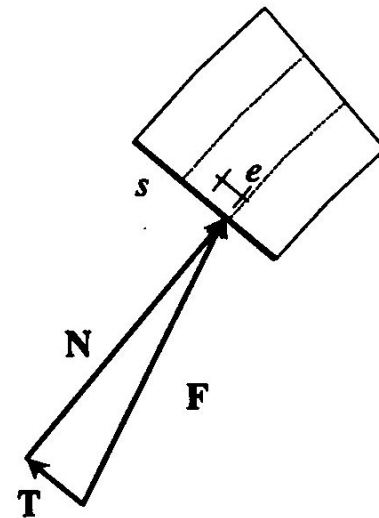
$$\sigma_{\min} = N / (b \cdot s) (1 - 6e/s) = 0.07 \text{ N/mm}^2$$

Entrambi i valori sono al di sotto del limite del materiale per cui la verifica a compressione è superata.

Se la tensione dovuta al taglio è:

$$T = T/A = 0.005 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 0.34 \text{ N/mm}^2$$

Anche la verifica a scorrimento è soddisfatta.



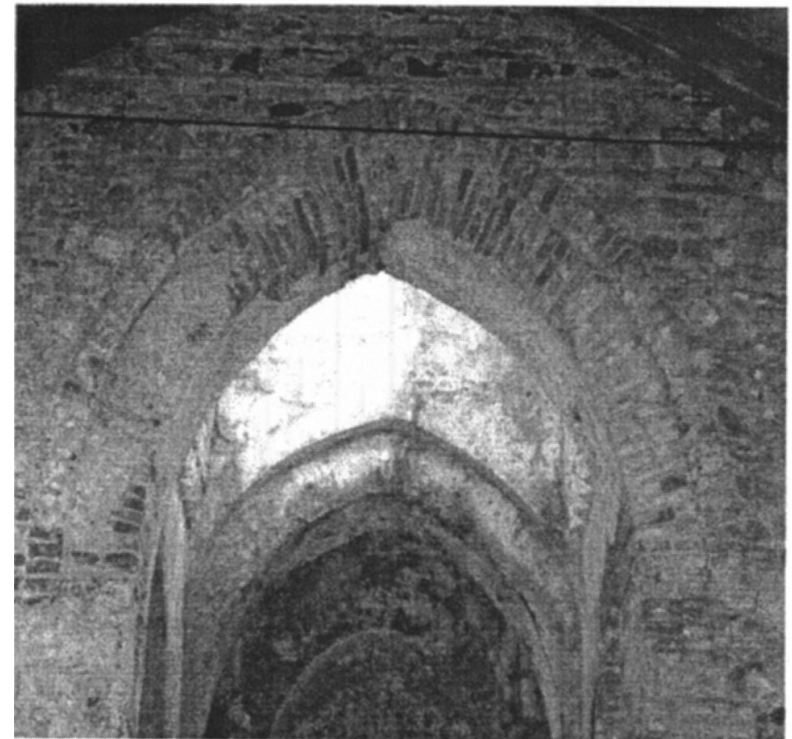
**Forza agente sulla sezione da verificare.**

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (13/15)

Verifica statica con il metodi di Heyman di un arco acuto

Consideriamo un arco a sesto acuto di luce pari a 3.10 m ed altezza in chiave (all'intradosso) di 2 m. I conci hanno altezza di 0.46 m e profondità 0.80 m.



Arco oggetto di studio.

(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (14/15)

Se si suddivide l'arco in otto conci il loro peso rispettivo sarà:

$$P_1=2405 \text{ N}$$

$$P_2=2535 \text{ N}$$

$$P_3=2540 \text{ N}$$

$$P_4=2580 \text{ N}$$

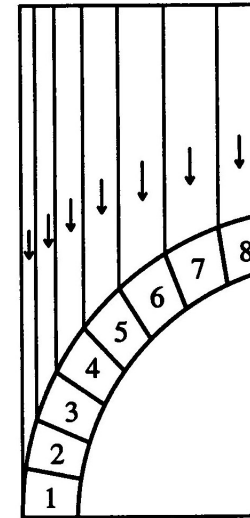
$$P_5=2665 \text{ N}$$

$$P_6=2925 \text{ N}$$

$$P_7=2865 \text{ N}$$

$$P_8=2420 \text{ N}$$

Nella tabella riportata qui di fianco sono riportati il carico sovrastante ciascun concio e la forza risultante totale, il riferimento grafico a ciascun concio si trova nell'immagine sovrastante.



(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

Concio	Carico sovrastante concio [N]	Risultante (Peso concio + carico sovrastante) [N]
1	1780	4185
2	5140	7675
3	7420	9960
4	9405	11985
5	10400	13065
6	12040	14965
7	11765	14630
8	10050	12470

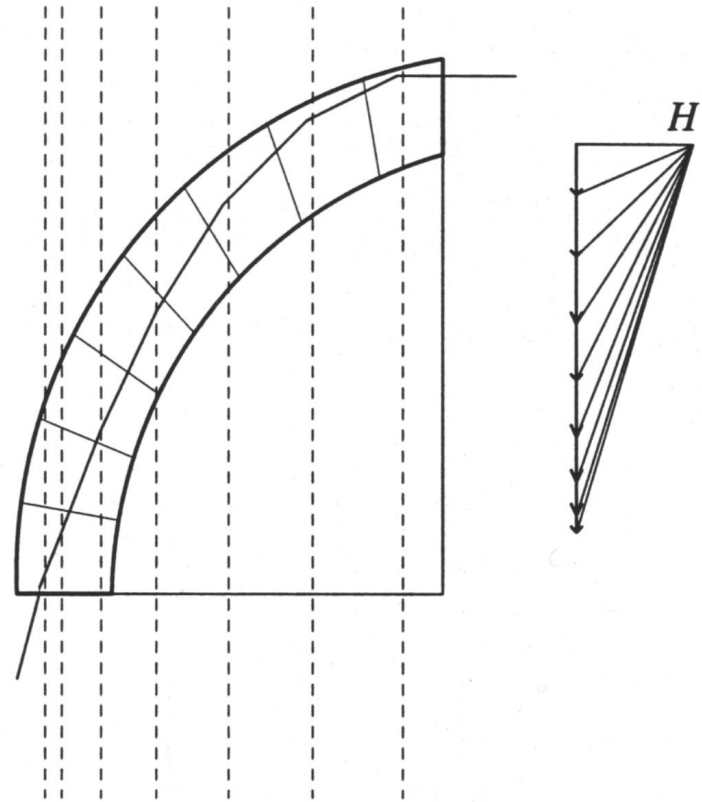
(Tabella tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Applicazioni (15/15)

Come si vede dall'immagine di fianco, la verifica secondo Heyman ha dato esito positivo.

L'arco può ritenersi sicuro.

Il metodo di Mery non era utilizzabile trattandosi di un arco a sesto acuto.



(Immagine tratta da Olivito, *op. cit.*)

# Riferimenti bibliografici e iconografici

- A. Becchi, F. Foce, *Degli archi e delle volte – Arte del costruire tra meccanica e stereotomia*, Marsilio: Venezia, 2002.
- E. Benvenuto, *La Scienza delle Costruzioni nel suo Sviluppo Storico*, Sansoni: Firenze, 1981.
- M. Como, *Statica delle costruzioni storiche in muratura. Archi, volte, cupole, architetture monumentali, edifici sotto carichi verticali e sotto sisma*, Aracne: Roma, 2010.
- G. Del Piero, *Le costruzioni in Muratura*, CISM: Udine, 1984.
- J. Heyman, *The Masonry Arch*, Ellis Horwood: Chichester, 1982.
- R. S. Olivito, *Statica e Stabilità delle Costruzioni Murarie*, Pitagora: Bologna, 2009<sup>2</sup>.
- R. Pozzi, *La Statica Grafica in Architettura – Equilibrio e forma degli archi*, Progetto Leonardo: Bologna, 1991.
- J. Rondelet, *Trattato Teorico e Pratico dell'Arte di Edificare* (trad. B. Soresina sulla 6° ed. francese), Caranenti: Mantova, 1831.