

## K+#\$ **INTRODUZIONE**

Arco è un programma per l'analisi di archi e volte in muratura. Il software è basato sul teorema statico dell'analisi limite. L'applicazione delle idee alla base del calcolo limite alle strutture in muratura risale agli studi di Heyman [Ref. 1]. Il teorema statico può essere enunciato nel modo seguente: un arco in muratura è sicuro se esiste una linea delle pressioni, in equilibrio con i carichi esterni e giacente interamente nello spessore dell'arco, e se le tensioni corrispondenti sono sufficientemente basse.

Il software ha le seguenti caratteristiche:

- profilo dell'intradosso definibile dall'utente
- spessore variabile dell'arco
- opzione per considerare l'influenza delle pressioni passive esercitate dal rinfianco
- calcolo automatico della linea delle pressioni ottimale
- output grafico esportabile in Autocad
- help sensibile al contesto (tasto F1)

Nell'implementazione classica del calcolo degli archi, il rinfianco è considerato un mero sovraccarico verticale, ignorando l'effetto delle pressioni passive orizzontali che possono essere mobilitate quando l'arco spinge contro il rinfianco. Questo approccio è generalmente a favore di sicurezza, ma spesso non consente di soddisfare le verifiche di stabilità, specialmente nel caso di archi soggetti a sovraccarichi asimmetrici. L'introduzione dell'effetto delle pressioni orizzontali, ricentrando la linea delle pressioni, può condurre al soddisfacimento delle verifiche, evitando la necessità di costosi ed invasivi interventi di consolidamento. Dal punto di vista del restauro, nessun intervento è il miglior intervento.

L'help è organizzato in forma di tutorial attraverso tre esempi.

L'esempio 1 è illustrato nel dettaglio e dovrebbe essere seguito per primo.

L'interfaccia del programma è in lingua inglese. Il significato di alcuni vocaboli tecnici è illustrato nel [Glossario](#).

---

<sup>K</sup> Introduzione

<sup>+</sup> automatic

<sup>#</sup> IDH\_001

<sup>\$</sup> Introduzione

## K+#\$ CENNI STORICI

La statica degli archi in muratura è trattata scientificamente solo a partire dalla fine del '700 con gli studi di Coulomb. Nella seconda metà dell'800 Mèry presenta il concetto di curva delle pressioni e il metodo della minima spinta.

Castigliano analizzò il ponte Mosca a Torino per illustrare il suo celebre Teorema (1879).

E' per merito di J. Heyman che, a partire dalla fine degli anni '60 si rianalizzano i problemi di calcolo degli archi alla luce delle moderna teoria del calcolo limite.

In generale un calcolo "esatto" dell'arco in muratura è assai difficoltoso, se non impossibile, per l'incerta conoscenza delle leggi costitutive dei materiali e per la difficoltà di tener conto degli effetti dei cedimenti, delle fessurazioni, della storia di carico, ecc.

Si fa quindi ricorso al calcolo a rottura (teorema statico e teorema cinematico).

Il metodo di Mèry può essere giustificato sulla base del

### TEOREMA STATICO

(formulazione intuitiva)

“Una struttura è in grado di sopportare determinati carichi se si può dimostrare che può equilibrarli un regime di sforzi ammissibile per il materiale”.

IPOTESI: duttilità, assenza di fenomeni di instabilità

Con il metodo di Mèry si cerca l'esistenza di questo regime di sforzi, sintetizzato dalla curva delle pressioni.

La struttura ad arco, 3 volte iperstatica, viene resa isostatica introducendo tre cerniere, in corrispondenza delle quali si assumono momenti iperstatici nulli.

La posizione delle cerniere viene variata alla ricerca di un regime di sforzi ammissibile.

La rottura dell'arco avviene solitamente come illustrato in figura 4; in base a questa constatazione il Mèry suggerisce di render isostatico l'arco introducendo le tre cerniere di figura 5.

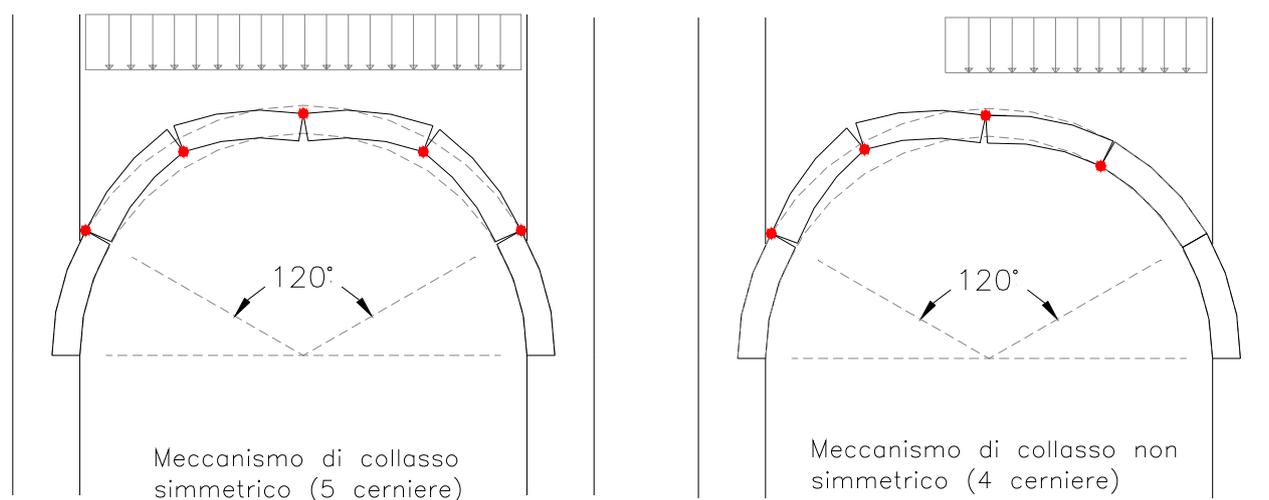


Fig. 4 – Meccanismi di collasso

<sup>K</sup> teoria; stabilità; Mèry; Heyman

+ automatic

# IDH\_005

§ Cenni teorici

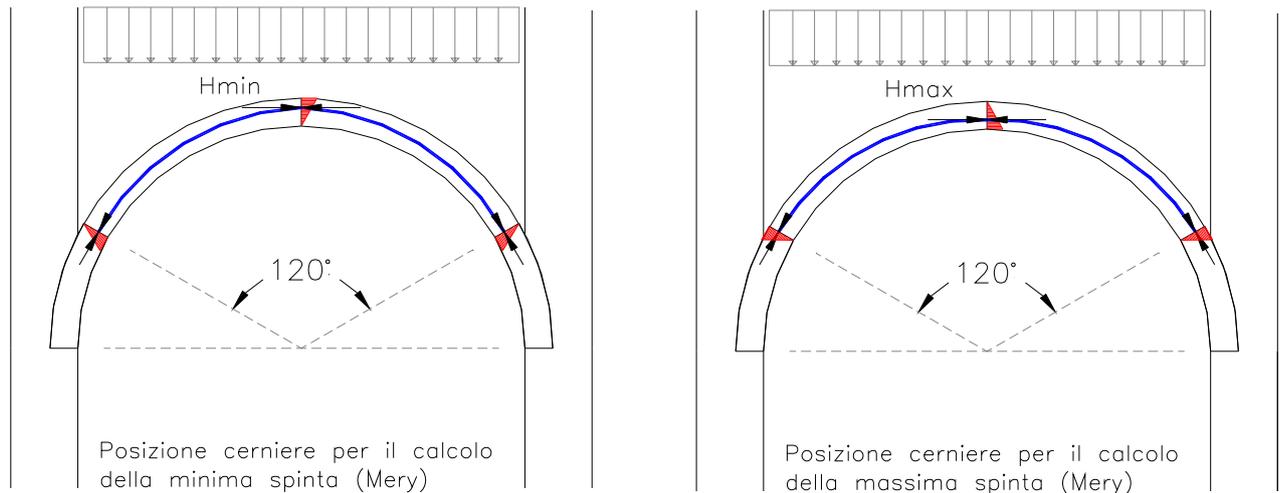


Fig. 5 – Posizione delle cerniere alla Mèry

Se la curva delle pressioni non esce dal nocciolo centrale d'inerzia in nessuna sezione, la spinta calcolata secondo la figura di sinistra è la minima capace di mantenere l'arco in condizioni di assenza di fessurazione. Per tale valore andranno dimensionate le catene o, in loro assenza, i piedritti.

Nel caso di piedritti spingenti (piani interrati, ponti) si eseguiranno anche le verifiche per la massima spinta.

Secondo Heyman si può ammettere la parzializzazione delle sezioni, purché il centro di pressione sia interno alla metà centrale (eccentricità =  $s/4$ ).

Il metodo di Mèry viene solitamente presentato come metodo grafico: la curva delle pressioni è la funicolare dei carichi.

Oggi ci è sicuramente più congeniale un approccio numerico.

Dopo aver calcolato le reazioni vincolari  $H$ ,  $V_s$ ,  $V_d$ , si calcolano nella generica sezione  $i-i$  le azioni interne  $M_i$ ,  $N_i$ ,  $T_i$ .

Con riferimento alla figura 6 si possono scrivere le seguenti semplici relazioni:

$$H_i = H$$

$$V_i = R_q + R_f + R_a - V_s$$

$$M_i = V_s \cdot b_{V_s} - H \cdot b_H - R_q \cdot b_{R_q} - R_r \cdot b_{R_r} - R_a \cdot b_{R_a}$$

$$N_i = H_i \cos \alpha_i - V_i \sin \alpha_i$$

$$T_i = -H_i \sin \alpha_i - V_i \cos \alpha_i$$

$$e_i = M_i/N_i \quad (\text{posizione del centro di pressione})$$

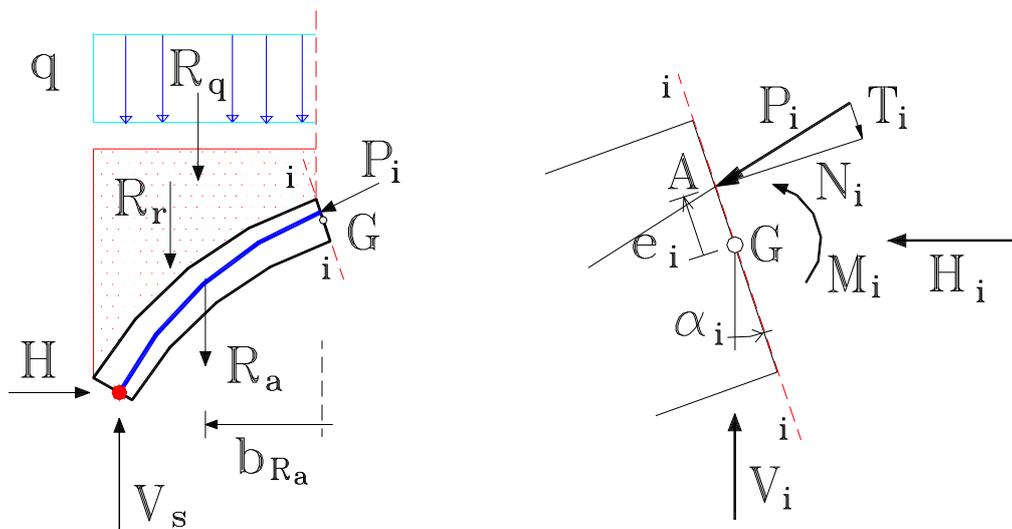
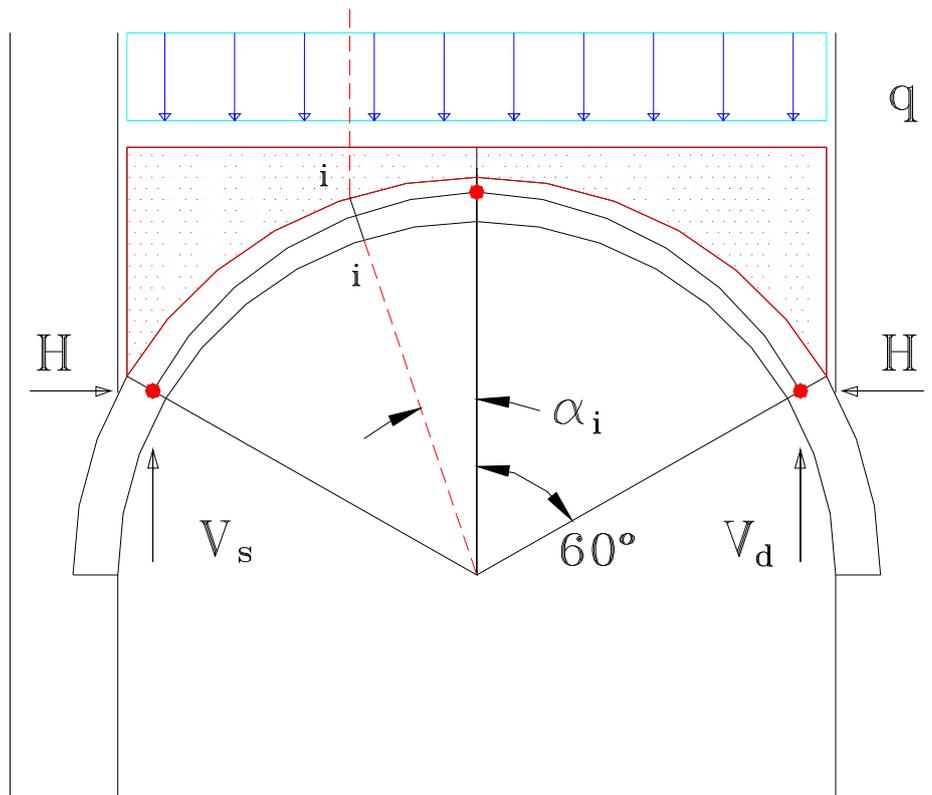


Fig. 6 – Calcolo della posizione del centro di pressione

## K+#\$ TUTORIAL - Esempio 1

### File Help1.aro

**Volta con intradosso costituito da un singolo arco circolare.**

Aprire il file 'Help1.aro' usando il menu "File" o l'icona nella barra degli strumenti.

{bmc Bmp001.bmp}      {bmc Bmp001-1.bmp}

Fig. 1 – Apri file

I dati geometrici vengono caricati dal file.

{bmc Bmp002.bmp}

Fig. 2 – Dati geometrici

Il significato di ciascun dato è illustrato nello schema e spiegato posizionando il mouse sulla casella di testo.

Cliccare sul bottone "**ZOOM**" per ingrandire lo schema (cliccare nuovamente per rimpicciolirlo).

{bmc Bmp003.bmp}

Fig. 3 – Schema ingrandito

Le distanze  $d_w$  e  $d_h$  possono essere nulle.

'Ring width' è la larghezza dell'arco in direzione normale alla figura ed è irrilevante per il calcolo, dato che vengono considerati solo sovraccarichi distribuiti per unità di superficie. Essa influenza solo il valore del sovraccarico totale  $Q$  indicato nei plottaggi.

'Start eccentricities' sono le eccentricità iniziali delle cerniere, alle reni (springers) e in chiave (crown), che vengono inserite per rendere isostatico l'arco (arco a tre cerniere). La linea delle pressioni passa per le tre cerniere. La posizione delle cerniere viene modificata se si sceglie l'opzione 'Optimize' nel form "Solve options"

- Cliccare su {bmc next.bmp} per plottare la geometria.

{bmc Bmp004.bmp}

Fig. 4 – Plottaggio della geometria

La parte di arco, attraverso la quale verrà tracciata la linea delle pressioni, è plottata in rosso. Nella parte inferiore viene disegnata la pianta dell'estradosso.

- Cliccare su {bmc next.bmp} per inserire il sovraccarico.

---

<sup>K</sup> Esempio 1; Geometria (Esempio 1);Input (Esempio 1)

<sup>+</sup> automatic

<sup>#</sup> IDH\_010

<sup>\$</sup> Tutorial - Esempio 1

## K# Load (Sovraccarico)

{bmc Bmp005.bmp}

Fig. 5 –Input del sovraccarico

Secondo il metodo di verifica agli stati limite, si devono applicare coefficienti parziali di sicurezza alle azioni e alle resistenze. Poiché l'effetto del peso proprio è favorevole, dato che tende a centrare la linea delle pressioni, in questo esempio si è applicato un coefficiente parziale pari a 0,9 alle densità dei materiali. Per il sovraccarico è consigliabile adottare per il coefficiente parziale di sicurezza un valore maggiore di quello usuale, per tener conto anche delle incertezze nella geometria dell'arco. In questo esempio si vuole verificare la volta per un sovraccarico di  $6 \text{ kN/m}^2$  e si introduce il valore  $q=12 \text{ kN/m}^2$ ; avendo assunto un valore del coefficiente parziale pari a 2. Il carico è applicato su metà luce, condizione che è solitamente la più severa per la stabilità dell'arco.

- Cliccare su {bmc next.bmp} per aggiornare il plottaggio della geometria.

{bmc Bmp006.bmp}

Fig. 6 – Geometria aggiornata col carico

- Cliccare su {bmc next.bmp} per inserire le opzioni di calcolo (solve options).

## K# Solve Options (Opzioni di Calcolo)

{bmc Bmp007.bmp}

Fig. 7 – Solve options input form

Poiché l'opzione 'Optimise thrust-line' non è selezionata, la linea delle pressioni (thrust-line) passerà dai tre punti identificati dalle "Start eccentricities" nella schermata iniziale 'Geometry form'. Vedere più avanti le opzioni "Optimize thrust-line" e "Passive pressures".

- Cliccare sul pulsante "Solve".

## K# Solution plot (Plottaggio della Soluzione)

{bmc Bmp008.bmp}

Fig. 8 – Plottaggio della soluzione

Nel plottaggio il valore  $Q=23,0 \text{ kN}$  (evidenziato in giallo) è la risultante del carico distribuito  $q$  che grava sulla volta.

La linea delle pressioni è tracciata in blu. Per evidenziare la posizione della linea delle pressioni

---

K Sovraccarico (Esempio 1)

# IDH\_020

K Solve Options (Esempio 1)

# IDH\_030

K Solution plot (Esempio 1)

# IDH\_040

all'interno dello spessore dell'arco, nella parte inferiore del disegno è riprodotto il profilo dell'arco con lo spessore amplificato quattro volte. Sono anche tracciati i diagrammi delle tensioni massime in ciascuna sezione all'estradosso (curva verde) e all'intradosso (curva magenta). I valori delle tensioni sono calcolati secondo la teoria elastica classica per materiali non reagenti a trazione:

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3u}$$

Essendo N la forza assiale di compressione per unità di larghezza dell'arco e u la distanza della linea delle pressioni dal bordo compresso. Se la linea delle pressioni è sterna, l'equilibrio non è possibile senza trazioni e le tensioni sono calcolate come se la sezione fosse interamente reagente:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{t} \pm \frac{6Ne}{t^2}$$

La Fig. 8 mostra che la linea delle pressioni non giace interamente nello spessore dell'arco e quindi l'equilibrio richiederebbe una muratura resistente a trazione. I valori massimi delle tensioni all'estradosso ( $\sigma_e \max = -1.15$  Mpa) e all'intradosso ( $\sigma_i \max = -0.623$  Mpa) sono entrambi di trazione.

- Cliccare sul menu o sul pulsante **“Report”**.

### **K# Report form (Report della soluzione)**

{bmc Bmp009.bmp}

Fig. 9 – Report della soluzione

- Cliccare sul pulsante **“Enlarge”**.

{bmc Bmp010.bmp}

Fig. 10 – Report complete

Nel report, oltre ai valori delle  $\sigma$ , è riportata la percentuale di sezione compressa (0 se la linea delle pressioni è sterna allo spessore). Sono riportati i valori in ciascuna sezione (usare le barre di scorrimento per visualizzare tutti i valori). Nel riquadro “Reactions at springings” (reazioni alle reni), sono riportati i valori delle componenti orizzontale e verticale delle spinte alle reni di sinistra e destra (Hl, Hr, Vl, Vr) e del tiro nella catena (tie trust) che si suppone posizionata alle reni. Nel riquadro “Wall reactions” (reazioni sulla parete), sono indicati i valori delle forze risultanti orizzontali (Hl, Hr) e dei momenti flettenti (Ml, Mr) indotti dalle pressioni passive (se inserite) sulle pareti laterali.

### **K# Optimize thrust-line (Ottimizzazione della linea delle pressioni)**

Selezionare **“Solve Options”** dal menu **“Data”** o cliccare sul pulsante **“OPT”**. Migliorare la soluzione selezionando l'opzione **“Optimize thrust-line”**.

{bmc Bmp011-1.bmp}    {bmc Bmp011-2.bmp}

---

<sup>K</sup> Report form (Esempio 1)

# IDH\_050

<sup>K</sup> Optimize thrust-line (Esempio 1)

# IDH\_055

{bmc Bmp011-3.bmp}

Fig. 11 – Riquadro “Optimize thrust-line”

Il valore ‘Steps n.’ (numero di step) indica il numero di parti in cui viene diviso lo spessore dell’arco per variare la posizione delle cerniere. Il valore di default 10 rappresenta un buon compromesso fra accuratezza e tempo di calcolo.

Il valore ‘Approx’ rappresenta l’approssimazione nella posizione ottimale delle cerniere ed è inizialmente uguale allo spessore Massimo dell’arco diviso per il numero di step. Esso può essere aggiornato dal solutore se nel primo step (con eccentricità nulla delle cerniere) la linea delle pressioni non è interamente interna allo spessore dell’arco.

- Cliccare sul pulsante “**Solve**” o sulla corrispondente voce di menu.

{bmc Bmp012.bmp}

Fig. 12 – Procedura di ottimizzazione in esecuzione

La procedura di ottimizzazione può essere arrestata se troppo lenta. In questo caso si diminuisca il numero di step e si riavvii il solutore. La soluzione è mostrata nella figura seguente:

{bmc Bmp013.bmp}

Fig. 13 – Plottaggio della soluzione dopo l’ottimizzazione

Ora la linea delle pressioni giace interamente entro lo spessore dell’arco, ma le tensioni sono molto elevate ( $\sigma_e \max=9,33$  MPa,  $\sigma_i \max=9,19$  MPa). I due valori dovrebbero essere quasi uguali se il numero di step è sufficientemente alto. Nel caso presente non conviene ricercare una maggiore accuratezza; è meglio cercare di migliorare la soluzione introducendo la resistenza delle pressioni passive.

### **K# Passive pressures (Pressioni passive)**

L’arco, specialmente quando è soggetto ad un sovraccarico non distribuito uniformemente, tende a deformarsi verso il material di rinfianco, che reagisce mobilitando la sua resistenza passiva (Fig. 14).

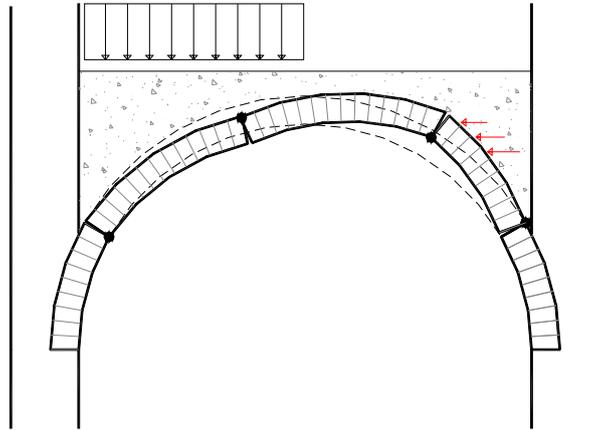


Fig. 14 – Meccanismo di rottura contrastato dalle pressioni passive orizzontali esercitate dal rinfianco

Sui conci che tendon a flettere verso il rinfianco, si possono considerare applicate le forze orizzontali  $S = k_p P_F \tan \alpha$  (Fig. 15).

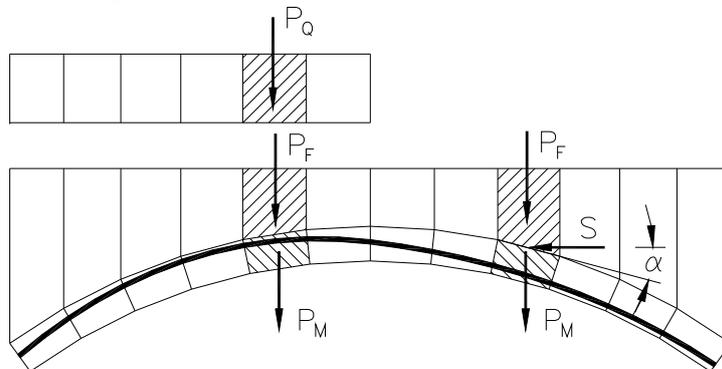


Fig. 15 – Forza orizzontale S, dovuta alla resistenza passiva, applicata al conccio

Per il coefficiente di spinta passiva  $k_p$  si deve assumere un valore ragionevole, corrispondente a quello mobilitabile anche con piccoli spostamenti dell'arco contro il rinfianco. Si suggeriscono valori compresi fra 0.5 (coefficiente di quiete) e 2. Proviamo con  $k_p=1$ .

- Aprire il form 'Solve options' e selezionare l'opzione 'Passive pressures'

{bmc Bmp016.bmp}

Fig. 16 – Riquadro 'Passive pressures'

Inserire il valore  $k_p=1$  per il coefficiente di spinta passiva. Inserire il numero di conci (voissoirs) soggetti alle spinte passive. Poiché nell'esempio l'arco tende a deformarsi verso destra, si introduca il numero (16) di conci compresi fra la chiave e l'imposta di destra (ultimi 16 conci). Cliccare su "Solve".

{bmc Bmp017.bmp}

Fig. 17 – Plottaggio della soluzione dopo l'ottimizzazione

Ora la linea delle pressioni giace interamente nello spessore dell'arco e le tensioni ( $\sigma_e \max=0,721$

MPa,  $\sigma_{i \max}=0,714$  MPa) sono sufficientemente piccolo. Valori leggermente inferiori ( $\sigma_{\max}=0,655$  MPa,  $\sigma_{i \max}=0,666$  MPa) possono essere ottenuti con  $k_p=1,2$ .

Si noti che il valore di  $\sigma_{\max}$  deve essere confrontato con la resistenza di progetto della muratura allo stato limite ultimo e non con il valore ammissibile. Inoltre  $\sigma_{\max}$  è calcolata considerando una distribuzione elastica lineare e si reduce a 3/4 se si considera una distribuzione plastica.

### K# View menu (Menu visualizza)

- Selezionare la voce di menu “View – Resultants” per plottare i vettori delle forze.

{bmc Bmp018.bmp}

Fig. 18 – Plottaggio della soluzione con i vettori delle risultanti delle forze

Provare le alter opzioni.

### K# Plot menu (Menu plottaggio)

Il menu ‘Plot’ (Fig. 19) permette di stampare, di esportare in format dxf e di disegnare in Autocad (versione 14 o successiva).

{bmc Bmp100.bmp}

Fig. 19 – Menu plottaggio

L’introduzione, nel calcolo di verifica, delle pressioni passive orizzontali agenti sull’arco, implica la necessità di verificare l’equilibrio delle pareti laterali (Fig. 20). I valori della forza orizzontale risultante  $H_r$  e del momento flettente  $M_r$  agenti sulla parete di destra sono indicate nel riquadro “Wall reactions” del form Report (Fig. 21).

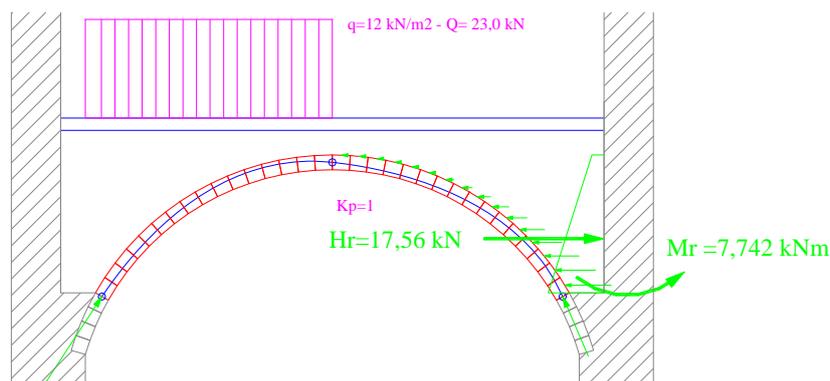


Fig. 20 – Azioni sulla parete laterale

{bmc Bmp110.bmp}

Fig. 21 – Riquadro “Wall reactions”

---

K View menu (Esempio 1)

# IDH\_070

K Plot menu (Esempio 1)

# IDH\_080

Nel riquadro “Optimal eccentricities” sono indicate le eccentricità che ottimizzano la linea delle pressioni. Cliccare sul pulsante “Set as start values” se si vogliono usare questi valori come eccentricità iniziali in successive analisi senza il processo di ottimizzazione.

{bmc Bmp120.bmp}

Fig. 21 – Riquadro “Optimal eccentricities”

## K+#\$ TUTORIAL - Esempio 2

### File Help2.aro

#### Arco con intradosso definito dall'utente (arco acuto)

Aprire il file 'Help2.aro' come illustrato in [Esempio 1](#).

I dati geometrici vengono caricati dal file. Vedere [Esempio 1](#) per i dettagli.

```
{bmc Bmp201.bmp}
```

Fig. 1 – Dati geometrici dell'arco acuto

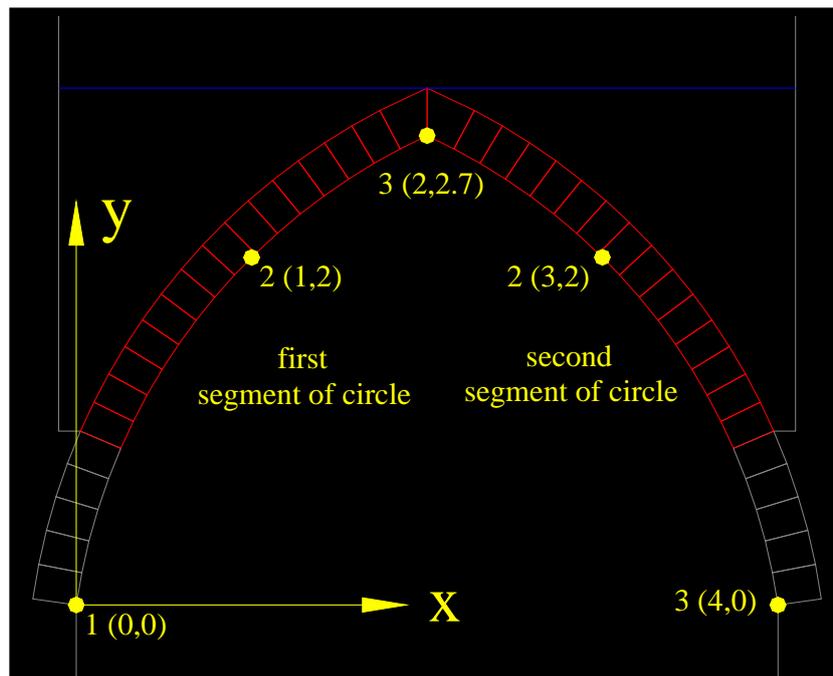


Fig. 2 – Input del profile dell'intradosso

Fig. 2 illustra l'input dei dati geometrici dell'intradosso. Il profilo definito dall'utente è formato da una serie di archi circolari. Per ciascun segment di arco si devono inserire le coordinate di due punti (punti 2 and 3 in Fig. 2). Il sistema di riferimento ha origine nel punto 1 (coordinate 0,0). I punti successivi vanno introdotti in ordine crescente di x.

- Cliccare su {bmc next.bmp} per plottare la geometria.

```
{bmc Bmp203.bmp}
```

Fig. 3 – Plottaggio della geometria

I due archi parziali sono connessi automaticamente.

---

<sup>K</sup> Esempio 2; Input Esempio 2

<sup>+</sup> automatic

<sup>#</sup> IDH\_210

<sup>§</sup> Tutorial - Esempio 2

- Cliccare su {bmc next.bmp} per inserire il sovraccarico.

{bmc Bmp204.bmp}

Fig. 4 – Input del sovraccarico

vedere Esempio 1 per i dettagli.

In questo esempio l'arco va verificato per un carico di progetto concentrato in chiave  $Q=100$  kN. Poiché si è impostata una larghezza dell'arco (Ring width) di 0,5 m, si introduce il valore del carico distribuito equivalente  $q=400$  kN/m<sup>2</sup>, applicato da  $xq1=1,75$ m a  $xq2=2,25$ m, la cui risultante è uguale a  $Q$ .

- Cliccare su {bmc next.bmp} per aggiornare il plottaggio della geometria.

{bmc Bmp205.bmp}

Fig. 5 – Geometria aggiornata con il carico

- Cliccare su {bmc next.bmp} per l'input delle opzioni di calcolo.

{bmc Bmp206.bmp}

Fig. 6 – Form delle opzioni di calcolo

Vedere Esempio 1 per i dettagli.

- Cliccare sul pulsante **“Solve”**.

{bmc Bmp207.bmp}

Fig. 7 – Plottaggio della soluzione

Vedere Esempio 1 per i dettagli.

La linea delle pressioni giace interamente entro lo spessore dell'arco e le tensioni ( $\sigma_e \text{ max}=1,39$  MPa,  $\sigma_i \text{ max}=1,38$  MPa) sono sufficientemente ridotte. Valori leggermente inferiori ( $\sigma_e \text{ max}=1,33$  MPa,  $\sigma_i \text{ max}=1,33$  MPa) si possono ottenere con  $k_p=2$ .

## K+#\$ TUTORIAL - Esempio 3

### File Help3.aro

#### Volta a botte con intradosso policentrico e spessore variabile.

Aprire il file 'Help3.aro' come spiegato in Esempio 1.

I dati geometrici sono caricati dal file.

{bmc Bmp301.bmp}

Fig. 1 – Dati geometrici della volta a botte

Il profilo dell'intradosso (Fig. 2) è policentrico, e il raggio del segmento di arco centrale è dato dalla relazione:

$$R = \frac{L \sin 60^\circ - f}{2 \cdot \sin 60^\circ - 1}$$

L'arco ha una luce di 5m e una freccia di 2m. Il valore relativamente elevato della freccia esalterà l'influenza delle pressioni orizzontali. Lo spessore è di 12 cm (larghezza di un mattone) nella zona centrale e di 24 cm (altezza di un mattone) alle reni. I valori di progetto della densità dei materiali sono  $18 \text{ kN/m}^3$  per la muratura e  $16 \text{ kN/m}^3$  per il rinfiacco, avendo adottato un coefficiente parziale di sicurezza pari a 0,9. Il ricoprimento in chiave è di 20 cm. Il valore di progetto del sovraccarico è  $12 \text{ kN/m}^2$ , avendo adottato un coefficiente parziale di sicurezza pari a 2.

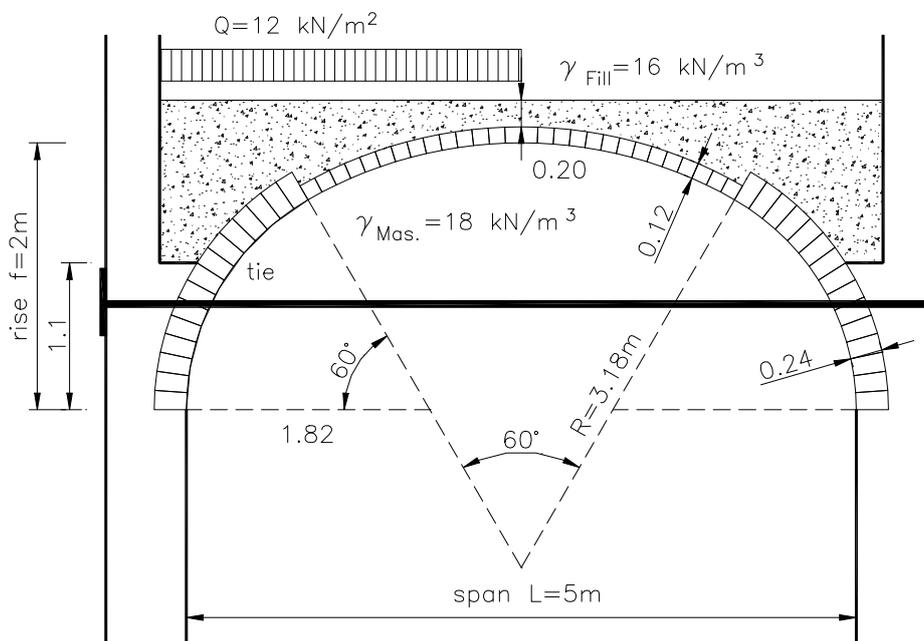


Figure 2: Geometria della volta policentrica a botte.

<sup>K</sup> Esempio 3; Input Esempio 3

<sup>+</sup> automatic

<sup>#</sup> IDH\_310

<sup>\$</sup> Tutorial - Esempio 3

Il profilo dell'intradosso è formato da 3 archi di cerchio; la sua geometria va inserita come descritto in Esempio 2 e mostrato in Fig. 3.

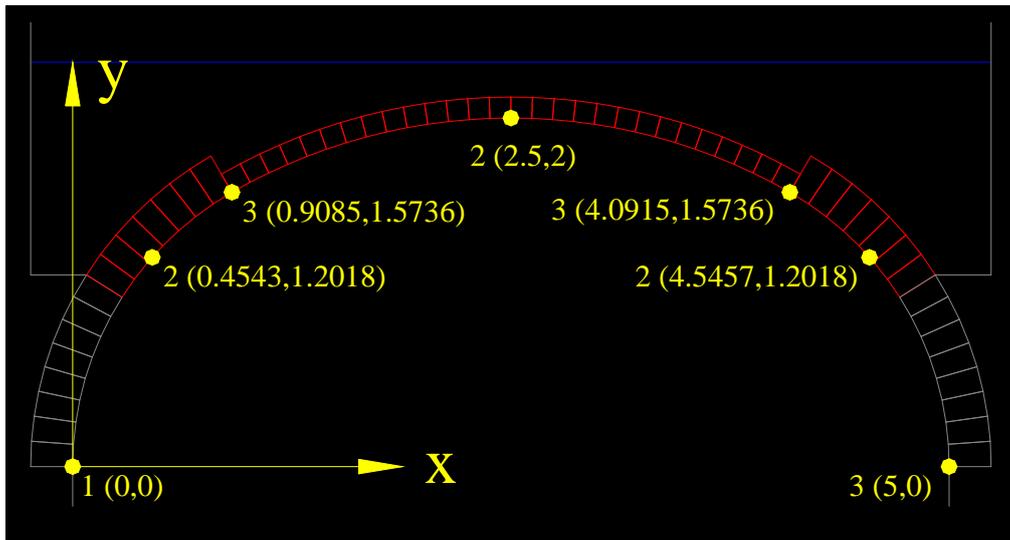


Fig. 3 – Input del profilo dell'intradosso

- Cliccare su {bmc next.bmp} per plottare la geometria.

{bmc Bmp304.bmp}

Fig. 4 – Plottaggio della geometria

- Cliccare su {bmc next.bmp} per inserire il sovraccarico.

{bmc Bmp305.bmp}

Fig. 5 – Input del sovraccarico

Vedi Esempio 1 per i dettagli.

- Cliccare su {bmc next.bmp} per aggiornare il plottaggio della geometria.

{bmc Bmp306.bmp}

Fig. 6 – Plottaggio della geometria con il sovraccarico

- Cliccare su {bmc next.bmp} per le opzioni di calcolo.

{bmc Bmp307.bmp}

Fig. 7 – Form delle opzioni di calcolo

Vedi Esempio 1 per i dettagli.

- Cliccare sul pulsante “Solve”.

{bmc Bmp308.bmp}

Fig. 8 – Soluzione. Sono state selezionate le voci “Discretization” e “Horizontal forces” del menu “View”

Vedi Esempio 1 per i dettagli.

La linea delle pressioni giace interamente nello spessore dell'arco e i valori massimi delle tensioni ( $\sigma_e \text{ max}=1,10 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_i \text{ max}=1,09 \text{ MPa}$ ) sono sufficientemente piccoli. Il valore  $1,10 \text{ MPa}$ , calcolato considerando una distribuzione elastica, si riduce a  $0,82 \text{ Mpa}$  ( $3/4 \times 1,10$ ) se si assume una distribuzione plastica e può considerarsi accettabile come resistenza di progetto anche per una debole malta di calce.

**K+#\$** **References (Referenze)**

- [1] J. Heyman, *The stone skeleton*, International Journal of Solids and Structures **2**, 249-279, (1966).
- [2] T. E Boothby, *Analysis of masonry arches and vaults*. Prog. Struct. Engng Mater. **3**, 246-256, (2001).
- [3] W. J. Harvey, *Application of the mechanism analysis to masonry arches*, The Structural Engineer **66**(5), 77-84, (1988).
- [4] E. Giuriani, A. Gubana and A. Arengi, *Backfill and spandrels to limit the vault bending*, in Proc. Stremah99, Eds. C.A. Brebbia, W. Jäger, WIT Press: Southampton, Boston, 738-748, (1999).
- [5] Gelfi, P., “Role of Horizontal Backfill Passive Pressure on the Stability of Masonry Vaults”, International Journal for Restoration of Buildings, Aedificatio Verlag, Freiburg, Vol. 8, No 6, pag. 573-589, ISSN 0947-4498, (2002).  
<http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/pdfPubblicazioni/14-Role of horizontal backfill.pdf>

## **K+#\$ Glossario**

Per facilitare gli utenti italiani, viene riportata la traduzione di alcuni termini tecnici particolari.

Assessment = verifica

Backfill = rinfianco

Crown = chiave (dell'arco)

Safe theorem = teorema statico

Springer = primo concio alle reni

Springings = reni (dell'arco)

Thrust = spinta, tiro

Thrust-line = linea delle pressioni

Tie = catena

Voussoir = concio

#

{bmc INFO-10.bmp}

#

{bmc INFO-20.bmp}