allegato n.	titolo abbreviato:	
12.2.1	SP EX SS N 415 - LOTTO 3	

PROVINCIA DI CREMONA

SETTORE INFRASTRUTTURE STRADALI

S.P. ex S.S. n. 415 "PAULLESE"

AMMODERNAMENTO TRATTO "CREMA-SPINO D'ADDA"

LOTTO N. 3 - "NUOVO PONTE SUL FIUME ADDA"

LAVORI DI RADDOPPIO DEL PONTE SUL FIUME ADDA E DEI RELATIVI RACCORDI IN PROVINCIA DI CREMONA E LODI

1	revisione a seguito verifica UTP		FEBBRAIO 2016
0	prima emissione		DICEMBRE 2015
emissione	descrizione	disegnato	data emissione

livello: PROGETTO DEFINITIVO	codice CUP: G41B03000270002
elaborato: O.A. N.2 - PONTE "ASBURGICO" PROGETTO ORIGINALE RELAZIONE DI CALCOLO	codice: PS.PO.01
	allegato n.: 12.2.1 — scala:

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL PROGETTISTA GENERALE	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	data 27 MAG. 2016
(Ing. Fabio Scaroni)	(Ing. Davide Pisana)	(Ing. Roberto Vanzini)	

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA
A 3262
Ingegnere
Fabio Scaroni
Civile ed Ambientale
Industriale
dell'Informazione

Percorso file: U:\lavori\09\Projects\SS415\PONTE SPINO\Definitivo_CR\00_COPERTINE.dwg

PONTE STORICO SUL FIUME ADDA

PROGETTO ORIGINALE

RELAZIONE DI CALCOLO

Ricerca della Stabilità della Spalla e dell'Arcata

Fissata l'ampiezza dell'arcata in M.^i 28 la saetta di M.^i 4 pari ad 1/7 della corda, la grossezza della volta in chiave di M.^i 1.05 ed all'imposta di M.^i 1.35 – l'altezza della spalla dal piano di risega a quello d'imposta in M.^i 3.55, finalmente le fondazioni in calcestruzzo della spalla stessa a M.^i 4.50 sotto il piano di risega, si cerca se l'arcata ed il piedritto sono tali da poter resistere al loro peso ed ai sovraccarichi, tanto permanente che accidentale.

La curva intradosso dell'arcata ha un raggio di M.^i 26,50, mentre quello dell'estradosso è di M.^i 30,01; lo spessore della cappa è di M.^i 0,15, la massicciata superiore di 0,35. Il peso specifico della muratura si ritiene di Cg.^mi 2000, quello del calcestruzzo di 2200; il sovraccarico di Cg.^mi 800 per metro quadrato, corrispondente perciò al peso di uno strato di muratura dell'altezza di M.^i 0.40.

Ritenuto lo spessore della spalla di M.^i 8.00 si è iniziata la ricerca della curva delle pressioni adottando il sistema dei giunti fittizi verticali e della trasformata della volta.

Divisa la volta e l'area sovrastante con rette verticali distanti l'una dall'altra di un metro, si sono determinate le aree delle zone così ottenute, e tali valori si sono portati successivamente in scala di 1:250 sulla verticale passante per l'imposta all'intradosso dell'arco.

Per questi punti di divisione si sono tracciate delle orizzontali le quali incontrano le rispettive verticali in punti che collegati fra loro determinano una curva che, insieme ai due assi ortogonali, chiude un triangolo mistilineo la cui area rappresenta il momento della semivolta rispetto all'imposta.

Nel prospetto seguente si hanno i valori delle aree dei giunti.

Giunti	Aree				Momenti					
	parziali		complessive dalla chiave		parziali		totali		totali in ordine inverso	
1	1	86	1	86	25	11	25	11	242	89
2	1	89	3	75	23	63	48	74	240	12
3	1	96	5	71	22	54	71	28	232	63
4	2	07	7	78	21	74	93	02	221	38
5	2	22	10	00	21	09	114	11	207	24
6	2	42	12	42	20	57	134	68	191	04
7	2	64	15	06	19	80	154	48	173	33
8	2	90	17	96	18	85	173	33	154	48
9	3	22	21	18	17	71	191	04	134	68
10	3	60	24	78	16	20	207	24	114	11
11	4	04	28	82	14	14	221	38	93	02
12	4	50	33	32	11	25	232	63	71	28
13	4	99	38	31	7	49	240	12	48	74
14	5	55	43	86	2	74	242	16	25	11

i momenti parziali e totali rispetto al giunto fittizio d'imposta, finalmente quelli totali ma in ordine inverso.

I valori dei momenti essendo dati rispettivamente dalle aree dei quadrilateri mistilinei chiusi da un tratto di quella curva descritta, da due orizzontali successive e dalla verticale passante per l'imposta, così per facilitarne il calcolo si sono ridotti in tanti rettangoli aventi per lati tre dei lati suddetti e per quarto, in sostituzione della curva, un tratto verticale passante pel suo punto di mezzo.

Sopra la verticale che passa per l'imposta si portò poi in una scala conveniente un tratto uguale alla somma dei momenti e per quell'estremo una orizzontale. Ai punti d'incontro di quest'ultima retta tracciata colle verticali dei giunti portiamo su queste rispettivamente e nella stessa scala i valori dei momenti trovati, ottenendo così tanti punti per cui facciamo passare una linea detta Curva dei momenti.

Tale curva avrà l'ordinata all'imposta uguale a 242,86, mentre quella alla chiave sarà zero.

Passiamo ora alla costruzione della trasformata della volta (vedi sunti delle lezioni del Prof.r Clericetti pag. 69).

Preso un punto qualunque sulla orizzontale d'imposta lo si unisce col vertice della curva dei momenti ottenendo così la trasformata di questa curva, sopra di essa si proiettano con orizzontali i punti d'incontro della curva dei momenti colle verticali dei giunti fittizi. Da questi punti così ottenuti si fanno passare delle verticali fino ad incontrare le orizzontali passanti pei punti d'incontro delle curve d'intradosso e d'estradosso coi giunti fittizi verticali; l'unione di questi punti dà due curve che rappresentano la trasformata della volta.

Da questa trasformata si vede come il giunto di rottura coincide col giunto d'imposta, poichè nessuna linea condotta nel perimetro della trasformata tocca le linee esterne d'inviluppo.

Il peso di un tratto di semivolta della larghezza di metri 1 e compreso fra i giunti fittizi della chiave e dell'imposta è dato dall'area complessiva indicata nella III.ª finca della tabella, moltiplicato per 2000 peso specifico della muratura; perciò

$$P = 43,86 \times 2000 = 87720$$

Il momento M di quel tratto di semivolta rispetto al giunto d'imposta è dato dalla finca V. della tabella; sarà perciò

$$M = 242,86 \times 2000 = 485720$$

Indicando con α l'angolo del giunto d'imposta colla verticale

si ha $\alpha = 31° 53' 30''$

" " B l'angolo che la risultante

della P colla Q (peso
e spinta orizzontale)
fa coll'orizzontale.

Indicando con T la componente normale
della risultante rispetto
al giunto d'imposta.

" " C la distanza del centro
di pressione dall'estradosso
al giunto in chiave.

" " S spessore della volta in chiave

" " b la saetta della volta

Si ha che

$$c = \frac{S}{3} \times \frac{3b+S}{2b+S} = \frac{1.05}{3} \times \frac{12+1.05}{8+1.05} = 0,504 \qquad c = 0,51$$

La forza che produce il momento M si
può ritenere che sia Q la quale agisce con
un braccio di leva eguale a $(b+S-c)$ perciò
noi potremo scrivere.

$$Q = \frac{M}{b+S-c} = \frac{242,86}{4,54} \times 2000 = 106980$$

Siccome poi la risultante R è data da
$R = \sqrt{P^2+Q^2}$ così sostituendo

$$R = \sqrt{87720^2 + 106980^2} = 138345,65$$

Ma noi sappiamo che $R = \frac{Q}{\cos\beta}$ da cui
$\cos\beta = \frac{Q}{R}$ sostituendo

$$\cos\beta = \frac{106980}{138345,65} = 0.77328 \text{ da cui } \beta = 39°{,}21'$$

Essendo l'arco incompleto il giunto di rottura
è all'imposta quindi la direzione della

spinta non è normale al giunto di rottura (infatti l'angolo che formano è eguale a $90° + \alpha - \beta = 82°32'30''$) la componente normale sarebbe data da
$R \sin 82°32'30''$

La curva dei centri di pressione potrà essere tracciata calcolando i valori di d e d_o che sono rispettivamente la distanza del punto d'applicazione di Q dall'estradosso in chiave e quella del punto d'applicazione di R dall'intradosso all'imposta ed usando della trasformata.

I valori di d e d_o saranno dati da

$$d = \frac{c}{2 + \tan\alpha \, tg\beta} \qquad d_o = \frac{d}{\cos\alpha}$$

e quindi sostituendo

$$d = \frac{0,504}{2 + (0,6222 \times 0,8199)} = 0,20$$

$$d_o = \frac{0,20}{0,849} = 0,236$$

Conosciuti tali valori noi possiamo determinare la pressione massima corrispondente all'estradosso in chiave ed all'intradosso all'imposta.

Tali valori sono dati dalle formole

$$\frac{2Q}{3d} = \frac{213960}{0,60} = 356600$$

$$\frac{2R}{3d_o} = \frac{276691,30}{0,708} = 390806,92$$

valori che corrispondono, pel primo punto ad una pressione di $Cg^{=}\ 35,66$ e pel secondo a Cg.^mi^ 39,08 per cent.^mo^ quad.^to^

Sapendosi che la muratura di mattoni forti di prima qualità fatta con malta di calce idraulica può resistere fino a Cg.^mi^ 100 per centimetro quadrato, si deduce che questa minor pressione a cui sono soggetti porge una garanzia sufficiente circa la stabilità dell'opera.

I valori testè trovati (corrispondendo alle forti del ponte) saranno certamente i massimi che si potranno verificare in tutta l'arcata; per la parte rimanente avremo il materiale che sarà soggetto ad una pressione assai minore, non essendovi muratura che sovrasta alla volta ma bensì terrapieno.

Volendosi conoscere la pressione media a cui è soggetta l'arcata tanto alla chiave che all'imposta e ricordato che le porzioni di superficie che si ponno ritenere compresse sono rispettivamente $3d$ e $3d_0$ applicando la formola nota $\alpha = \frac{Pressione}{Area}$ e sostituendo si ottengono questi valori

$$\frac{Q}{3d} = \frac{106980}{0,60} = 178300$$

$$\frac{R}{3d_0} = \frac{138345,65}{0,708} = 195400$$

pari rispettivamente alle pressioni di 17,83 e 19,54 per centimetro quadrato.

In questo caso il coefficente di stabilità raggiunge il valore di $\frac{1}{5.12}$ valore che andrà certamente soggetto a diminuzione perchè tali costruzioni aumentano di solidità per un certo tempo dal termine della costruzione.

Di più i riempimenti murali sull'estradosso della volta si comportano quali come robusti solidi incastrati nelle spalle quindi lungi dal premere sull'arcata come farebbe un carico sciolto, contribuiscono a notevolmente diminuire l'effetto del riempimento di sostanze terrose, del ballast e sovraccarico.

Indicando con X la distanza della risultante del peso della volta dall'imposta all'intradosso si ha:

$X = \frac{M}{P}$ sostituendovi i valori

$$X = \frac{M}{P} = \frac{242,86}{\text{sen } 43,16} = 5,534$$

Tracciata la direzione di P dal punto d'incontro colla Q portiamo rispettivamente i valori di P e Q che composti fra di loro danno la risultante R, la quale incontra il giunto d'imposta alla stessa distanza d_0 ottenuta col calcolo.

Circa lo spessore da assegnarsi alla spalla varie sono le formole empiriche e varii i risultati che si ottengono, quindi si trovò conveniente di fissare la dimensione in M.^{i} 8,00 salvo ad istituire dei calcoli per provarne la stabilità.

Ritenuta la grossezza della spalla all'imposta di M.i 8,00 l'inclinazione della fronte esterna di 1,20 nell'altezza di M.i 3.20 escluso lo spessore della cornice, la sua grossezza al piano di risega risulta di M.i 8,16

Componiamo la prima risultante R col peso P' della spalla, si avrà così una seconda risultante R' data dalla formola:

$$R' = \sqrt{R^2 + P'^2 + 2RP' \operatorname{sen} \beta}$$

Sostituiamo i valori di R e P'.

$R = 138345,65 \quad P' = 143800$

$R' = 255041$

Trovata la direzione ed il punto d'applicazione di R' nel piano di risega e misurata la distanza di questo dallo spigolo esterno della spalla in M.i 3.75 si vede che la forza R' è applicata in un punto del terzo medio, il che indica che ~~tutta~~ la base inferiore della spalla è soggetta a pressione.

Però tale pressione non è certo distribuita uniformemente, anzi i punti dello spigolo già considerato devono essere i più compressi.

La pressione massima in corrispondenza allo spigolo esterno sarà data da

$$p = \frac{2P}{3d}$$

p è la pressione cercata

P la risultante delle forze agenti

d la distanza del punto d'applicazione di P dallo spigolo stesso.

Sostituendo i rispettivi valori si ha

$$p = \frac{2 \times 255041}{3 \times 3.75} = 45340 \text{ pari a}$$

Cg.^mi^ 4,534 per centimetro quadrato.

Ora noi sappiamo che la muratura di mattoni forti si rompe solo sotto la pressione di circa Cg.^mi^ 100, dunque noi avremo, anche nel punto più pericoloso, per coefficiente di stabilità $1/22$ valore minore della metà di quello usato dai più prudenti costruttori.

La pressione media che si esercita sulla base della spalla sarà data dalla somma delle componenti verticali divisa per l'area della base stessa cioè:

$$\frac{143800 + 87720}{8.16} = 28372$$

In questo caso il coefficiente di stabilità sarà $\frac{1}{35}$.

Vediamo ora se la spalla resiste allo scorrimento.

La sola forza che tenderebbe a farla scorrere è la spinta Q della volta che noi sappiamo essere 106980; la forza interna che vi si oppone è l'aderenza delle malte.

Ritenuto come coefficiente di rottura 0,5 per millimetro quadrato stante la qualità della calce impiegata, ed essendo di Mq.^i^ 8,00 l'area della superficie secondo la quale dovrebbe avvenire il distacco, ne viene che la resistenza che oppone sarà:

$8,00 \times 1000000 \times 0,5 = 4000000$ mentre come già sappiamo, la spinta Q viene che 106980. In questo caso perciò il coefficiente di stabilità relativo allo scorrimento corrisponde a $\frac{1}{37}$. — La pressione a cui è soggetto il fondo in corrispondenza alla spalla sarà data dal peso della spalla colle sue fondazioni e da quello dell'arcata. Nel nostro caso perciò sono:

1.° Quello dell'arcata e dei sovraccarichi permanente ed accidentale.

2.° Quello della parte di spalla corrispondente all'arcata.

3.° Quello della parte di spalla corrispondente alle piazzette laterali.

4.° Quello del Calcestruzzo di fondazione.

Tali valori saranno dati rispettivamente da

1.° $87720 \times 7{,}80 = 684216$

2.° $143800 \times 7{,}80 = 1121640$

3.° $(3{,}60 + 0{,}54 + 0{,}45) \times 6 \times 9 \times 2000 = 495800$

4.° $13{,}84 \times 9{,}16 \times 4{,}50 \times 2200 = 1255066$

Peso totale che gravita sul fondo Cg.^{mi} 3557722

L'area della base di fondazione è $13{,}84 \times 9{,}16 = 126{,}77$ ne viene che la pressione media per ogni metro quadrato sarà di

$$3557722 : 126{,}77 = 28064$$

valore che essendo molto inferiore ai 60000 dato dai più prudenti costruttori, e citato anche dal Croizette - Desnoyers per fondi in ghiaja, sabbia e ciottoli, ritiensi più che sufficiente a garantire la stabilità dell'opera.

come per la spalla, anche per la pila, dalle formole empiriche che ne danno lo spessore si ottengono risultati svariatissimi, quindi si è ritenuto tale spessore in metri 3.00 salvo ad istituire i calcoli per provarne la stabilità.

Consideriamo i pesi che gravitano sulla pila al suo piano d'imposta. Essi sono.

1° Peso della Volta e sovraccarichi accidentali e permanenti ——— Kg. 175440

2° " della parte di muratura che posa sulla pila 3×5,55×2000 " 33300

Il peso totale sarà Kg. 228740

La pressione sopra un metro quadrato di sezione sarà dato da:

228740 : 3 = 76246

ed essendo il coefficiente di rottura 1000000, quello di stabilità sarà di $\frac{1}{13}$

Circa la stabilità del fondo si ha che i pesi che su di esso gravitano sono

1° Peso dell'arcata coi rinfianchi, riempimenti e sovraccarico accidentale =

2 × 87720 × 7,80 = ——— Kg. 1368432

II° Peso della muratura sovrastante alla pila 33000 × 7,80 = ——— " 246796

III° Peso del Calcestruzzo = ——— " 517490

Il peso totale che si trova sul fondo sarà ——— Kg. 2392458

L'area della base inferiore del calcestruzzo
è data da 12,10 × 4,32 = 52,27
perciò la pressione media sul fondo sarà

$$\frac{2392458}{52.27} = 45770$$

Tale valore essendo inferiore a 60000,
pressione a cui si sarebbe potuto assoggettare
con sicurezza il fondo, come venne accennato
nel caso della spalla, ci garantisce
che anche in corrispondenza alla pila
non avverrà alcun cedimento.
Da quanto si è detto si deduce che
le opere progettate, pur presentando gradi
di stabilità differenti a seconda delle
loro parti, restano sempre in quei limiti
di pressione accettabili da ogni prudente
costruttore

Ricerca dello sforzo alla chiave ed all'imposta dell'arco e determinazione dello spessore della spalla e pila

Fissata l'ampiezza dell'arcata in M.i 28 la saetta in M.i 4 pari a 1/7 della corda, la grossezza della volta in chiave di M.i 1.05 ed all'imposta di M.i 1.35 – L'altezza dei piedritti, pile e spalle, corrisponde a M.i 3.50 dal piano di fondazione al piano d'imposta degli archi; ritenuta la risega di fondazione al pelo di magra, le fondazioni delle pile e spalle s'intenderà protratto a M.i 4.50 sotto il nominato piano di risega.

Tracciata la curva d'intradosso ed estradosso essendo il raggio della curva d'intradosso M.i 26.50 e quello della curva d'estradosso M.i , calcolato lo spessore della cappa da sovraporsi alla volta in M.i 0.15 e la superiore massicciata di M.i 0.25 ritenuto il peso del sovracarico in K.i 800 per mq.to e il peso specifico della muratura in K.i 2000 si è ritenuta l'altezza del massiccio murale equipollente al sovracarico dell'ulteriore altezza di M.i 0.40.

Ritenuto lo spessore della spalla in M.i 8 – si è iniziata la ricerca della curva delle pressioni adottando il sistema dei giunti fittizi verticali.

Divisa la volta in zone della larghezza di un metro con opportune verticali, si è determinata l'area di ciascuna di queste zone compresa la parte corrispondente al sovracarico. – Il valore di queste aree progressive lo si è portato in scala di 1 a 200 sulle verticali d'imposta e da ogni punto di divisione si sono tracciate le orizzontali fino all'incontro delle corrispondenti verticali passanti pei giunti fittizi; i punti d'incontro determinarono la curva che coi due assi ortogonali determina il triangolo mistilineo, la cui area è il momento della semivolta rispetto all'imposta.

Per ottenere le aree dei triangoli mistilinei nei quali si è divisa la figura, si conducono dai punti di mezzo dei tratti curvilinei delle orizzontali ad incontrare le due verticali contigue con ciò si sostituisce alla curva la spezzata che si ritiene equivalente e si otterranno dei rettangoli di aree pressochè eguali a quelle dei corrispondenti rettangoli mistilinei. — La somma di tutti questi rettangoli dà il momento della semi-volta rispetto al giunto fittizio d'imposta

Compilato il prospetto di cui alla pag.^a 76 Clericetti, e trasportata in scala di 1 cent.^{mo} ogni cento metri sulle verticali passanti dal giunto d'imposta all'intradosso le quantità 242,86 e successivamente le altre quantità sulle verticali successive fino a zero sulle verticali in chiave — Uniti i punti così determinati si è descritto la curva dei momenti.

Si passa ora alla costruzione della trasformata della volta come è descritto alla Pag.^a 69 del Clericetti. Preso un punto qualunque sull'orizzontale d'imposta, lo si unisce col vertice o estremo superiore della curva dei momenti e si ottiene la trasformata della curva dei momenti e sopra questa si trasportano, si projettano tutti i punti d'incontro della curva dei momenti colle verticali dei giunti fittizii. Da questi punti si tracciano le verticali ad incontrare le orizzontali passanti pei punti d'incontro delle linee d'intradosso ed estradosso della volta coi giunti fittizii verticali; l'unione di questi punti danno la trasformata della semivolta.

Da questa trasformata si riconosce che il giunto di rottura coincide col giunto d'imposta poiché nessuna linea condotta nel perimetro della trasformata stessa tocca le linee esterne d'inviluppo.

Il peso della semivolta compreso fra i giunti fittizii della Chiave e dell'imposta è dato dall'area complessiva indicata nella finca II.ª della tabella moltiplicata per 2000 e quindi $P = 43.86 \times 2000 = 87720$

Il momento M della semivolta rispetto al giunto d'imposta è dato dalla finca IV.ª della tabella $= 242,86 \times 2000 = 485720$ —

Indicando con α l'angolo del giunto d'imposta colla verticale si ha $\alpha = 31°.33'.30''$

" " β l'angolo che la risultante della P e della Q fa coll'orizzontale

" " T la componente normale della risultante rispetto al giunto d'imposta supponendosi $R = Q \cos\beta$ si ha (1) $T = Q\ \dfrac{\cos(\beta-\alpha)}{\cos\beta}$ per essere l'arco incompleto.

" " C' la distanza del centro di pressione dall'estradosso del giunto alla chiave

" " S' lo spessore della volta in chiave

" " b la saetta della volta

Si ha $C = \frac{B'}{3} \cdot \frac{3b+B'}{2b+B'} = \frac{1.05}{3} \cdot \frac{12+1.05}{8+1.05} = 0,504 = \underline{\underline{0,51}}$

Indicando con Q la spinta alla chiave
" " P il peso della semivolta compresa fra i giunti fittizi verticali
si avrà per l'equilibrio della volta

$$\underline{Q} = \frac{M}{(b+B)-c} = \frac{242,86}{4,54} \times 2000 = \underline{106.980}$$

e quindi la risultante $\underline{R} = \sqrt{P^2+Q^2} = \sqrt{87720^2 + 106980^2} = \underline{\underline{138345,65}}$

Ma abbiamo che $R = \frac{Q}{\cos\beta} = \cos\beta = \frac{Q}{R} = 0,77328 - \beta = 39°21'$

Essendo l'arco incompleto la sezione di rottura è all'imposta e quindi la direzione della spinta non è normale al giunto di rottura – ed in intensità è data dalla (1) — La curva dei centri di massima pressione viene individuata conoscendosi le quantità d e d_0 vale a dire le distanze dall'estradosso alla chiave e dall'intradosso all'imposta tale curva potrà in seguito tracciata approfittando della trasformata dell'arco sapendosi che in essa ogni curva di pressione è rappresentata da una retta.

I valori di d e d_0 sono dati dalle formule

$$d = \frac{c}{2+(\tan\alpha \tan\beta)} \qquad d_0 = \frac{d}{\cos\alpha}$$

e quindi

$$d = \frac{0,504}{2+(0,6222 \times 0,8199)} = 0,20$$

" "

$$d_0 = \frac{d}{\cos\alpha} = \frac{0.20}{0,849} = 0,236$$

in base ai valori ottenuti di d e d_0 si può tracciare la curva delle pressioni trasportando sul giunto di di chiave e dall'estremo dell'estradosso la quantità $d = 0.20$ e pel punto d'imposta partendo dall'intradosso la quantità $d_o = 0.236$. — I giunti fittizi verticali d'imposta è incontrata dalla curva delle pressioni nel punto che dista dalla linea d'imposta all'intradosso della quantità $c - d$ e cioè $0.51 - 0.20 = 0.31$. Trasportato questo valore sulla trasformata del giunto verticale d'imposta ed unito tale punto col punto alla chiave determinato colla quantità d, si ottiene la retta trasformata della curva delle pressioni, che si può facilmente tracciare coi metodi già usati per la trasformata.

La distanza della P dalla verticale d'imposta sarà data da $\frac{M}{P} = 5,537$ e trovata questa distanza si abbassa la verticale rappresentante la forza P peso della semivolta e del sovraccarico.

Rappresentato in intensità e direzione la Q (orizzontale) passando pel centro di pressione in chiave distante $d = 0.20$ dall'estradosso —

Dal punto d'incontro della P e della Q determinate secondo i valori trovati ed in scala qualunque, si compongono e se ne ricava la risultante che rappresenterà in direzione ed in intensità lo sforzo esercitato all'imposta, e che passa infatti per il centro di pressione al vero punto d'imposta stato determinato col valore di $d_o = 0.236$

Spinta a pressione massima all'estremo del giunto in chiave: $\frac{2Q}{3d} = \frac{213960}{0.60} = 356600$ per C.q. 35,66

Spinta a pressione massima all'estremo del giunto all'imposta:

$$\frac{2R}{3d_o} = \frac{276691.30}{0.708} = 390806,92 \text{ per C.q. } 39.08$$

Ora la parte di sezione resistente alla chiave essendo data da $3d = 0{,}60$ e quella all'imposta da $3d_0 = 0.71$ si avrà il lavoro medio della sezione alla chiave $\frac{106980}{0.60} = 17{,}83$

" " " " " all'imposta

$$\frac{138345{,}65}{0{,}708} = 19{,}54$$

1° Avvertenza — Qualora il valore del coefficiente "n" fosse maggiore di 1/10 accrescerebbe nella volta un grado di stabilità inferiore a quello che generalmente vorrebbero conseguire i più prudenti costruttori. Se però osservasi che la teoria stata applicata è tale da togliere quasi tutte quelle incertezze per le quali sovente si pretende dagli Ingegneri un piccolo coefficiente di stabilità che le murature di mattoni molto resistenti eseguite con buone malte cementizie e con buone malte idrauliche aumentano di resistenza dopo un certo tempo, dopo la costruzione e che il riempimento murale sopra il volto costrutto da materie divise secondo piani verticali come si è supposto nel fare i calcoli è tutta in favore della stabilità; agevolmente si comprende come sia il caso di acquetarsi anche pei valori del coefficiente di stabilità minore di 1/6 ... Nel caso nostro i timpani o riempimenti murali sull'estradosso del volto si comportano quasi come robusti solidi incastrati nelle spalle e quindi lungi dal premere sull'arcata come farebbe un carico sciolto, contribuiscono a notevolmente diminuire l'effetto del riempimento di sostanze terrose, del ballast e del sovraccarico.

Curioni Dispensa 3ª Vol.e 4 pag.e 390

Determinazione della grossezza della spalla

Adoperando la formula $y = (0.33 + 0.424\,d)\sqrt{\frac{a}{A}} \times \frac{2d}{m + x}$

nella quale

d = semicorda = 14

m = freccia = 4

x = spessore in chiave = 1.05

a = l'altezza del piedritto = 3.50

A = " " al piano di strada 8.95

Vedi appendice all'Arte del Fabbricare del Curioni Dispensa 4ª Vol.e 4 pag. 363

si ha $y = 6{,}266 \times 1{,}469 = 9.20$

Tale valore è alquanto superiore al necessario ed infatti lo stesso Curioni avendo ottenuto per la spalla M.i 4,34 e progettando la spalla con risega verso terra, riteneva in M.i 4.40 la grossezza massima e di M.i 4,07 la grossezza media.

Assegnata alla spalla la grossezza di M.i 8 compresa la semipila ad essa adoperata con M.i 0,05 ogni metro d'altezza di rastremazione, la grossezza della stessa spalla, alta M.i 3.50 sarà al suo piano di risega M.i 8.175.

Componendo la R spinta al giunto d'imposta col peso del masso murale costituente la spalla dal piano di risega al piano stradale, si ottiene in direzione ed intensità la R risultante eguale a 255041

$$R' = \sqrt{R^2 + P'^2 + 2RP' \operatorname{sen}\beta} = 255041$$

nella quale $P' = \left\{(5.45 \times 8) + 3.50\left(\frac{8 + 8.175}{2}\right)\right\} 2000 = 143800$

$$R = 138345.65$$

La direzione incontra il piano della risega in un

punto compreso nel terzo medio della sezione distante dal punto esterno di M.i 3.75 — quindi la sezione è tutta compressa.
Il peso che gravita sul piano di risega dovuto al masso murario ed alla spinta K è dato da

$$\frac{255041}{8.175} = 311.97 \text{ al metro quadrato.}$$

Sapendosi che la muratura può sopportare con sicurezza un peso di 450000 K.i per m.° qu.to il risultato ottenuto presenta una sicurezza maggiore di quella tollerata dai più scrupolosi costruttori.

Determinazione della grossezza della pila

Assumendo la formula portata dalla nota (r) pag. 365 del Curioni Appendice 4 Vol. 4 si ha $x = \frac{3b-2m+2.40}{K-b-0.80} \cdot \frac{2d}{3}$

nella quale

X = la grossezza della pila all'imposta

b = l'altezza del suolo stradale sul piano determinato dalla linea d'imposta, dalla superficie d'intradosso dell'arcata

m = la monta dell'arcata

d = la semicorda

K = un numero variante fra i limiti 20 e 60

Sostituendo si avrà

$$x = \frac{3 \times 5.45 - 8 + 2.40}{K - 5.45 - 0.80} \times \frac{28}{3} \text{ che per } K = 0.20 \text{ da } x = 7.27$$

$$" = 0.60 \; " \quad x = 1.87$$

la media essendo di M.i 4.57

ritenuto però che la pila dovrà essere costrutta con materiale laterizio scelto, regolare e disposto a corsi perfettamente orizzontali con ottima calce idraulica si determina la grossezza della pila in M.i 3 misurati questi sull'orizzontale del piano d'imposta colla restremazione di M. 0,05 per ogni metro della sua altezza come si è detto parlando della spalla.

Calcolo della resistenza dell'Armatura progettato per la costruzione delle volte come dall'Allegato N.° 5.

Peso soprastante ad un metro di sviluppo di arcata.

$1.10 \times 2.000 = 2200$

Peso sostenuto da un corrente vicino alla chiave Lunghezza M: 2.30

$2.200 \times 2,30 = 5060$

Resistenza alla flessione – Dimensioni del pezzo $0,25 \times 0.30 \times 2.30$

$$n''R'' = \frac{v.m}{I_n}$$

$v = 15$ $p = 22$ $l = 230$

$$m = \frac{1}{8} p.l^2 = 145475$$

$$I_n = \frac{1}{12} \overline{0.25 \times 0,30}^3 = 56250$$

$$\frac{vm}{I_n} = 38,8 < 40$$

Monaco della capriata posta sotto la chiave dell'arcata

Dimensioni $30 \times 25 \times 200$

$$n''R'' = \frac{P}{\Omega} \qquad n''R''\Omega = P$$

$P = 5060$

$\Omega = 30 \times 25 = 750$

$n''R'' = 40$

$$750 \times 40 = 30000 > 5060$$

Puntone della capriata.

Dimensioni della sezione retta 30×25

Peso P lungo il suo asse

$\Omega = 750$

$$\Omega\, n''R'' = 750 \times 40 = 30000 > 5856$$

$$P = \frac{5060}{2} \times \cot 64,25' = \frac{2530}{0.432} = 5856$$

Nel punto d'unione del contrapuntone colla controcatena gravitano i pesi Chg. 5060 verticale e la componente secondo il puntone della capriata superiore laterale; componente data da:

$$\frac{5060}{2 \times 0.7071} = 3580 \qquad \cos 45^\circ = 0.7071$$

$$5060^2 + 3580^2 + 2 \times 5060 \times 3580 \times 0,7071 = 58669242$$

$$\sqrt{58669242} = 7660 = r$$

La pressione sulla controcatena sarà data da $X' = \frac{r \operatorname{sen} 86^\circ 55'}{\operatorname{sen} 25^\circ 35'}$

$$X' = 17710$$

Le dimensioni della sezione della controcatena sono 20 × 25.

Area 500
40

17710 < 20000

La pressione sul puntone e contropuntone sarà data da:

$$X'' = \frac{r \operatorname{sen} 67^\circ 30'}{\operatorname{sen} 25^\circ 35'} = 14229$$

14229
5856

20085

Le dimensioni della sezione del puntone e contrapuntone sono 50 × 25

Area 50 × 25 = 1250
40

50000 > 20085

Trazione cui è soggetta la catena

$$20085 \times 0,90195 = 18115,87$$

Diametro della catena mm 60 . Area della sezione retta 2827
8

18115 < 22616

Reazione del sostegno $20085 \times 0{,}43182 = 8673$

$\cos 25^\circ.35 = 0{,}43182$