



COMUNE DI PALERMO
Settore Centro Storico



COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica

COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica

Vista la verifica del 21 giugno 2013, si esprime **Parere Tecnico favorevole**, ai sensi dell'art. 5 comma 3 della L.R. 12/2011, con contestuale atto n. 18/2013/CS del 20 dicembre 2013.

20 DIC. 2013

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

Visto il Parere Tecnico n. 18/2013/CS del 20/12/2013, si **valida il lotto A** del progetto esecutivo ai sensi dell'art. 55 del DPR 207/2010 con contestuale atto n. 04/2013/CS del 20/12/2013.

20 DIC. 2013

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

INTERVENTI URGENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA E IL MIGLIORAMENTO STATICO DEL COMPLESSO MONUMENTALE DELLO SPASIMO

PROGETTO ESECUTIVO

TAV.	5
ALL.	1
DATA	Giugno-12

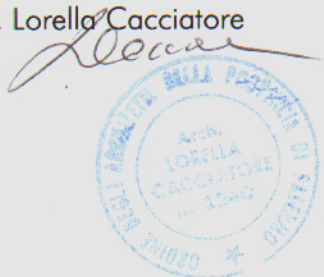
ELABORATO
Relazione dei calcoli - interventi strutturali sulle volte

SCALA	

I PROGETTISTI
Ing. Giuseppe Di Marzo



Arch. Lorella Cacciatore



IL R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

Visto:
Il Dirigente Servizio II OO.PP.

INDICE

1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA.....	2
1.1 OGGETTO	2
1.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	2
1.3 RINFORZI STRUTTURALI CON MATERIALI COMPOSITI	2
1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
2. RELAZIONE DI CALCOLO	6
2.1 PREMESSA	6
2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLI DI CONOSCENZA	6
2.3 ANALISI DEI CARICHI	7
2.4 COMBINAZIONE DI CARICO	8
2.5 MODALITÀ DI CALCOLO E VERIFICHE	8
2.6 VERIFICA ALLA DELAMINAZIONE DEL RINFORZO IN FRM.....	9
2.7 VERIFICA DI SICUREZZA DELLE VOLTE CONSOLIDATE.....	10
2.7.1 Verifica VOLTA TIPO 1.....	10
2.7.2 Verifica VOLTA TIPO 2 TIPO 5.....	25
2.7.3 Verifica VOLTA TIPO 3.....	47
2.7.4 Verifica VOLTA TIPO 4.....	55
2.7.5 Verifica VOLTA TIPO 6.....	62
2.8 FASI ESECUTIVE PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE VOLTE.....	76
3. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI.....	78
4. RELAZIONE SUI MATERIALI.....	78
4.1 RETE IN CARBONIO IN MATRICE IDRAULICA - FRM.....	78
4.2 MALTA STRUTTURALE FIBRORINFORZATA.....	79
4.3 ADESIVO SPECIALE IDRAULICO	80
4.4 ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA ZINCATO	80

1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

1.1 OGGETTO

La presente relazione si riferisce al progetto esecutivo per il **CONSOLIDAMENTO STATICO DELLE VOLTE** all'interno del complesso monumentale dello Spasimo a Palermo.

1.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Il rinforzo delle volte di cui all'oggetto è stato eseguito mediante tecnologie edili che utilizzano materiali innovativi quali malta strutturale fibrorinforzata con fibre di polivinilalcol (PVA) ed FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix).

L'intervento di rinforzo viene eseguito all'estradosso delle volte mediante la realizzazione di una soletta di malta fibrorinforzata con fibre di polivinilalcol, ancorata alla muratura perimetrale mediante perfori armati con barre in acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C, sulla quale viene applicata una fasciatura con rete di carbonio con speciale tramatura al fine di essere posata non con resine ma in matrice inorganica costituita da malta idraulica pozzolanica inorganica premiscelata.

L'intervento di rinforzo strutturale all'estradosso delle volte dovrà essere svolto seguendo le seguenti fasi:

1. Puntellatura della volta e realizzazione di tutti gli approntamenti di cantiere necessari per operare in sicurezza.
2. Rimozione degli intonaci pericolanti all'intradosso della volta, demolizione del pavimento (se presente) e svuotamento della volta all'estradosso.
3. Ripristino di parti eventualmente mancanti e sarcitura delle lesioni presenti previa iniezione a bassa pressione con adesivo idraulico.
4. Esecuzione di perfori armati con barre ad aderenza migliorata sulle murature perimetrali per l'ancoraggio della malta strutturale fibrorinforzata con fibre in polivinilalcol alla muratura stessa e loro inghisaggio con adesivo idraulico speciale.
5. Pulizia dell'estradosso della volta mediante la rimozione e l'asportazione del materiale di risulta e bagnare a rifiuto la superficie.
6. Realizzazione all'estradosso della volta di una soletta in malta strutturale fibrorinforzata con fibre in polivinilalcol raccordata in prossimità delle imposte.
7. Applicazione all'estradosso del rinforzo in carbonio seguendo le prescrizioni della scheda tecnica del prodotto che si applicherà e con gli strati e le modalità indicate nel presente progetto.
8. Riempimento dei fianchi della volta con argilla espansa legata ove previsto.
9. Realizzazione delle finiture ove previste.
10. Spuntellatura e rimozione degli approntamenti di cantiere.

L'applicazione dei materiali speciali deve essere conforme a quanto riportato nelle relative schede di prodotto.

1.3 RINFORZI STRUTTURALI CON MATERIALI COMPOSITI

Di seguito si riporta il quadro normativo di riferimento vigente in Italia nell'ambito del quale è possibile sviluppare la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo di sistemi di rinforzo in compositi fibrorinforzati da impiegarsi nelle costruzioni esistenti.

Il **Decreto Min. delle Infrastrutture 14 Gennaio 2008** prevede nel capitolo 8 "Costruzioni Esistenti" al § "8.6 Materiali" la possibilità di utilizzare materiali non tradizionali, purché nel rispetto delle normative e documenti di comprovata validità elencati al capitolo 12 "Riferimenti Tecnici". In questo capitolo la normativa vigente prescrive che, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle norme descritte e per quanto non in contrasto con esse, possono essere utilizzate le Istruzioni e i Documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e le Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori.

La "**Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 febbraio 2009 C.S.LL.PP.**" relativamente ad interventi da eseguire sulle strutture in muratura al capitolo C8 "Costruzioni esistenti" § C8.7 "Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche" § "C8.7.1.8 Criteri per la scelta dell'intervento" recita:

"Nel caso in cui nell'intervento si faccia uso di materiali compositi (FRP), ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi rinforzati si possono adottare le Istruzioni CNR-DT 200/2004 e ss. mm. e ii."

In particolare la Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 al capitolo C8A (Appendice al Cap. C8 "Costruzioni esistenti") § "C8A.5.2 Interventi sugli archi e sulle volte" indica la possibilità di ricorrere a tecniche di placcaggio con fasce in "*materiale composito*".

Le "**Linee Guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP**" emanate dal Consiglio Superiore dei lavori Pubblici il 24 luglio 2009 indicano le procedure tecniche di progetto, posa in opera e collaudo degli FRP impiegabili nelle strutture esistenti.

In particolare al § "5.1 Generalità e disposizioni normative" al 2° capoverso recitano:
"La Normativa vigente prevede la possibilità di utilizzare, per gli interventi sulle strutture esistenti, anche materiali non tradizionali purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità tra i quali vengono esplicitamente citate le Istruzioni ed i Documenti Tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tra questi viene incluso quindi il documento CNR-DT200/2004 Istruzioni per la Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati".

Inoltre al § "5.4 Controllo dei materiali" recitano:

"I materiali compositi utilizzati per le applicazioni di rinforzo strutturale descritte nel presente documento devono essere :

- **identificabili** per poter risalire univocamente al produttore;
- **qualificati e controllati** secondo procedure di controllo ben definite ed applicabili al processo di produzione in fabbrica e verificati regolarmente da un ente terzo di ispezione abilitato;
- **accettati** dal Direttore dei Lavori dopo verifica della documentazione e prove di accettazione.

Per l'identificazione e la qualificazione dei compositi per il rinforzo strutturale non esiste ad oggi una normativa Europea armonizzata, che preveda anche la marcatura CE, ma è possibile fare riferimento a specifiche tecniche di comprovata validità che garantiscano un livello di sicurezza equivalente a quello definito per i materiali tradizionali nel vigente decreto relativo alle Norme Tecniche per le Costruzioni. E' quindi possibile riferirsi alle procedure descritte nelle Istruzioni CNR DT200.

Nell'ambito dei Compositi Fibrorinforzati vi è poi una specifica tipologia costituita dai compositi in matrici inorganiche, che sono individuati all'interno delle CNR-DT 200/2004 le quali ne consentono l'impiego.

Il documento CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzate" § "2.2.3.3 Altre tipologie di resine" al 4° capoverso recita:

“Vanno infine ricordate le matrici di natura inorganica (cementizio, metalliche, ceramiche, ecc.) il cui utilizzo per la realizzazione di compositi fibrorinforzati in campo civile – soprattutto quelle cementizio – sta progressivamente diffondendosi. Pur non essendo esaminate nel presente documento, il loro impiego è tuttavia ritenuto possibile a condizione che risulti suffragato da una documentazione tecnica e da una campagna sperimentale adeguate, comprovante un'efficacia almeno pari a quella delle matrici organiche qui trattate”.

Nella fattispecie il rinforzo che si prevede di utilizzare è un sistema in composito brevettato, costituito da una rete in carbonio immersa in una matrice inorganica cementizia stabilizzata ampiamente Certificato attraverso prove e sperimentazioni condotte dal DISTART dell'Università di Bologna – Laboratorio sperimentale per la resistenza dei materiali. Il Laboratorio IBAM (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali – CNR) di Lecce ha invece certificato il sistema per quanto riguarda la sua permeabilità al vapore acqueo in conformità a quanto previsto dal Normale 21-85, e quindi la sua elevata traspirabilità, comprovando così un vantaggio rispetto ai sistemi tradizionali in resina che di fatto impermeabilizzano completamente la struttura nella zona di applicazione del rinforzo.

1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Per tutte le valutazioni strutturali si è fatto riferimento alle norme vigenti e alle principali raccomandazioni e linee guida italiane ed estere. In particolare si sono seguite le normative sotto riportate.

LEGGI NAZIONALI DI INDIRIZZO

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 (G.U. 321/71).
"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Circolare illustrativa Ministero dei LL.PP. 14 Febbraio 1974 n°11951 alla Legge n° 1086 (Non Pubbl. in G.U.).
- Legge 2 Febbraio 1974 n° 64 (G.U. 76/74).
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Circolare Min. LL.PP. 12 Dicembre 1981 n° 22120
"Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in cemento armato ed a struttura metallica danneggiati dal sisma (L.14/5/81 n°219 - Art.10)".

NTC 2008

- Decreto Min. delle Infrastrutture 14 Gennaio 2008 (G.U. 6/02/2008 n. 29)
"Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

- Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. (G.U. 26/02/2009 n. 47)
"Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 Gennaio 2008".
- Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti 5 agosto 2009 (G.U. 13/08/2009 n. 187)
"Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248. (09A09857)".

ALTRI RIFERIMENTI

- CNR-DT 200/2004 del 13 Luglio 2004.
"Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati".
- Documento approvato il 24 Luglio 2009 dall'assemblea Generale Consiglio Superiore LL. PP.
"Linee guida per la progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture in c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP".

Tutti i calcoli di progetto e verifica sono stati condotti secondo il metodo degli Stati Limite.

2. RELAZIONE DI CALCOLO

2.1 PREMESSA

Le volte oggetto del rinforzo sono del tipo a botte e a crociera realizzate con calcarenite o laterizio. Negli elaborati grafici di progetto le volte sono state denominate con la nomenclatura “VOLTA TIPO i-esima” per contraddistinguerle nella presente relazione. Il rilievo geometrico e dimensionale delle volte è stato eseguito dagli scriventi i quali hanno anche commissionato e diretto le indagini conoscitive delle strutture (materiali, soessori, caratteristiche, etc.). Le volte oggetto di rinforzo sono state schematizzate sulla base dei dati geometrici e dell'analisi dei carichi determinati in fase di progetto.

Su tutte le strutture voltate è stato eseguito il rinforzo mediante tecnologie edili che utilizzano materiali compositi. Allo scopo di garantire un adeguato rinforzo e quindi la stabilità delle volte, l'intervento, come detto, viene eseguito mediante la realizzazione di una soletta di malta fibrorinforzata, ancorata alla muratura perimetrale mediante perfori armati con barre in acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C. Infine viene realizzata una fasciatura estradosale con rete di carbonio in matrice inorganica. La fasciatura con FRCM è così in grado di assorbire le flessioni indotte dallo scostamento della linea delle pressioni rispetto al baricentro della volta. Sulle volte consolidate è stata condotta una analisi statica i cui metodi sono descritti nel seguito attraverso la quale si è potuto dimostrare il miglioramento conseguito e l'efficacia raggiunta in termini di maggiore sicurezza.

2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLI DI CONOSCENZA

Materiali esistenti:

- *Muratura a conci di pietra tenera (calcarenite):*

$$\begin{aligned}f_m &= 19.0 \text{ Kg/cm}^2 \\ E &= 10800 \text{ Kg/cm}^2 \\ \gamma &= 1600 \text{ Kg/m}^3.\end{aligned}$$

- *Muratura in laterizio con malta scadente:*

$$\begin{aligned}f_m &= 10.0 \text{ Kg/cm}^2 \\ E &= 10000 \text{ Kg/cm}^2 \\ \gamma &= 1100 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Il Livello di Conoscenza è stato limitato a (LC2) vista la campagna di indagini condotte commisurate al tipo di intervento previsto, e conformemente a quanto riportato nella Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti 2 Febbraio 2009 n. 617 § C8A.1.A.4 Tabelle C8A.1.1 si applica un fattore riduttivo delle caratteristiche dei materiali esistenti pari ad un Fattore di Confidenza FC=1.20.

Nuovi materiali:

- *Sistema di rinforzo a taglio e flessione delle strutture in muratura mediante compositi in natura fibrosa costituiti da reti in carbonio e malta idraulica pozzolanica speciale, da applicare secondo le fasi esecutive descritte nel Capitolo 4 “Relazione sui Materiali”:*

Caratteristiche della rete di carbonio

Peso della rete: 168 g

Spessore per il calcolo della sezione di carbonio a 0° e 90°: 0.047 mm

Dimensioni maglia: 10x10 mm

Carico di rottura a 0° e 90°: >160 Kg/cm

Carico di rottura a trazione (MPa) ≥ 4.800

Modulo elastico (Gpa) ≥ 240

Allungamento a rottura (%) 1,8

Malta idraulica pozzolanica

Resistenza a compressione a 28 giorni: 38 N/mm²

Resistenza a flessione a 28 giorni: 7.5 N/mm²

Modulo elastico secante a 28 giorni: 15000 MPa

- *Adesivo speciale idraulico premiscelato da inghisaggio ad alta tenuta, per gli ancoraggi in perfori eseguiti sugli elementi strutturali. Detta miscela sarà confezionata in conformità alle vigenti norme di legge con adesivo idraulico speciale premiscelato, avente le caratteristiche descritte nel Capitolo 4 “Relazione sui Materiali.*
- *Malta premiscelata tixotropica ad alta resistenza e ritiro compensato con fibre di polivinilalcol (PVA), per il consolidamento statico di volte di qualsiasi tipo, mediante costruzione di cappa debolmente armata autoportante da applicare secondo le fasi esecutive descritte nel Capitolo 4 “Relazione sui Materiali):*

Resistenza a compressione: >32.5 MPa (a 28gg)

Resistenza a flessione-trazione: >8.2 MPa (a 28gg)

Modulo elastico: 15000 MPa (a 28gg)

Adesione per trazione diretta sul mattone: >0.6 MPa

- *Acciaio in barre e/o reti ad aderenza migliorata del tipo B450C:*

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

2.3 ANALISI DEI CARICHI

I carichi agenti allo stato attuale sulle volte oggetto di rinforzo, e di seguito riportati, sono:

VOLTA TIPO 1 + VOLTA TIPO 3

- | | |
|---|--------------------------|
| - Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite) | = 1600 kg/m ³ |
| - Controvolta in PVA (s = 2 cm) | = 1900 kg/m ³ |
| - Carico permanente intonaco di cocciopesto | = 90 kg/m ² |
| - Carico accidentale | = 200 kg/m ² |
| - Carico neve | = 48 kg/m ² |

VOLTA TIPO 2 + VOLTA TIPO 5

- | | |
|---|--------------------------|
| - Carico strutturale (peso proprio muratura volta in laterizio) | = 1100 kg/m ³ |
| - Controvolta in PVA (s = 2 cm) | = 1900 kg/m ³ |
| - Carico permanente intonaco di cocciopesto | = 90 kg/m ² |

- Carico accidentale	= 200 kg/m ²
- Carico neve	= 48 kg/m ²
VOLTA TIPO 4	
- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite)	= 1600 kg/m ³
- Controvolta in PVA (s = 2 cm)	= 1900 kg/m ³
- Rinfianco volta (s _{chiave} = 5 cm)	= 900 kg/m ³
- Massetto in calcestruzzo alleggerito (s = 5 cm)	= 80 kg/m ²
- Pavimento in marmo (s = 3 cm)	= 80 kg/m ²
- Carico accidentale	= 200 kg/m ²
VOLTA TIPO 6	
- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite)	= 1600 kg/m ³
- Controvolta in PVA (s = 2 cm)	= 1900 kg/m ³
- Rinfianco volta (s _{chiave} = 30 cm)	= 900 kg/m ³
- Massetto in calcestruzzo armato (s = 5 cm)	= 125 kg/m ²
- Malta di allettamento (s = 2 cm)	= 60 kg/m ²
- Pavimento (s = 1 cm)	= 45 kg/m ²
- Carico accidentale	= 400 kg/m ²

2.4 COMBINAZIONE DI CARICO

Le azioni sulle costruzioni devono essere cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi si adotterà la combinazione fondamentale del tipo:

$$F_d = \gamma_{g1} \times G_{k1} + \gamma_{g2} \times G_{k2} + \gamma_{q1} \times Q_{1k} + \gamma_{q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

con:

G_{k1} = il valore caratteristico delle azioni dovute ai pesi propri;

G_{k2} = il valore caratteristico delle azioni dovute ai permanenti portati;

Q_{1k} = il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

Q_{ki} = i valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;

$\gamma_{g1} = 1.3$;

$\gamma_{g2} = \gamma_{q1} = 1.5$.

2.5 MODALITÀ DI CALCOLO E VERIFICHE

Per il calcolo delle volte esistenti, è stato realizzato un modello con il programma SAV 2009 della AEDES Software Autore Ing. Pugi Francesco – Licenza Chiave MPLMKQMM - Intestatario licenza Ing. Roberto Radicchia.

Le volte oggetto di intervento sono state modellate considerando archi di profondità unitaria (L=1m) i profili dei quali corrispondono alla curva direttrice delle volte stesse. Il calcolo è stato impostando sulla base dei dati geometrici (spessore volta, corda massima e freccia) rilevati sui luoghi.

Il rinforzo in FRM è stato modellato con una tensione di lavoro pari a quella determinata nel § 2.6 “Verifica alla delaminazione del rinforzo in FRM” e non sono stati applicati ulteriori coefficienti di sicurezza in quanto questi sono stati utilizzati per la determinazione della tensione massima di lavoro. Mediante il programma di calcolo SAV 2009 della AEDES sono state determinate le tensioni di lavoro della fibra di carbonio e confrontate con la

tensione massima di progetto come determinata al § 2.6 “Verifica alla delaminazione del rinforzo in FRCM” del presente capitolo e con la larghezza della fascia prevista in progetto.

2.6 VERIFICA ALLA DELAMINAZIONE DEL RINFORZO IN FRCM

Sperimentalmente si rileva che il valore ultimo della forza sopportabile dal rinforzo prima che subentri la delaminazione radente dipende, a parità di tutte le altre condizioni, dalla lunghezza della zona incollata. Tale valore cresce con la lunghezza della zona incollata fino ad attingere ad un massimo corrispondente ad una ben precisa lunghezza definita “lunghezza ottimale di ancoraggio”. Questa corrisponde quindi alla lunghezza minima di ancoraggio del rinforzo che assicura la trasmissione del massimo sforzo di aderenza. Nel seguito vengono determinate la lunghezza ottimale di ancoraggio “ l_e ” e la tensione di progetto nel rinforzo “ f_{fdd} ”, ovvero il valore della massima tensione alla quale il rinforzo può lavorare nella sezione terminale di ancoraggio a cui corrisponde la massima deformazione di progetto che può essere consentita al rinforzo senza che si manifestino problemi di decoesione. Le formule riportate sono state estrapolate dal Documento approvato il 24 Luglio 2009 dall’assemblea Generale Consiglio Superiore LL. PP. “Linee guida per la progettazione, l’Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture in c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP” al Cap. 4 “Rinforzo di strutture murarie” § 4.3.2 “Resistenza alla delaminazione radente allo stato limite ultimo”.

Muratura			Fattore confidenza		1.2
Muratura	Calcarenite		Fibra	X-MESH C 10/M25	
f_m	1.9	MP a	$f_{f,uk}$	4800	MP a
τ	0.035	MP a	E_f	240000	MP a
E_{cm}	1080	MP a	ε_{fk}	0.0180	
γ_m	2		t_f	0.047	m m
f_{mdk}	0.792		γ_f	1.1	
f_{mdk}^h	0.396	MP a	$\gamma_{f,d}$	1.2	
f_{mtm}	0.190	MP a	η_a	0.95	
$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{fdd} \right\},$			$\eta_a =$	0.95	
			$\gamma_f =$	1.1	
			$\varepsilon_f =$	0.0155	
			$\gamma_{f,d} =$	1.2	
			$\gamma_m =$	2	
			$E_f =$	240000	MP a
			$l_e =$	172.29	m m
			$\varepsilon_{fdd} =$	0.0007	
			$\varepsilon_{fd} =$	0.0007	
			$f_{fdd} =$	175.46	MP a
$f_{fdd} = \frac{0.17}{\gamma_{f,d} \cdot \sqrt{\gamma_M}} \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot \sqrt{f_{mk} \cdot f_{mtm}}}{t_f}}$					

Muratura			Fattore confidenza		1.2
Muratura	Laterizio		Fibra	X-MESH C10/M25	
f_m	1	MPa	$f_{f,uk}$	4800	MPa
τ	0.015	MPa	E_f	240000	MPa
E_{cm}	1000	MPa	ε_{fk}	0.0180	
γ_m	2		t_f	0.047	mm
$f_{m,dk}$	0.417		γ_f	1.1	
$f_{m,dk}^h$	0.208	MPa	$\gamma_{f,d}$	1.2	
$f_{m,tm}$	0.100	MPa	η_a	0.95	
$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{fdd} \right\},$			$\eta_a =$	0.95	
			$\gamma_f =$	1.1	
			$\varepsilon_f =$	0.0155	
			$\gamma_{f,d} =$	1.2	
			$\gamma_m =$	2	
			$E_f =$	240000	MPa
			$l_e =$	237.49	mm
			$\varepsilon_{fdd} =$	0.0005	
			$\varepsilon_{fd} =$	0.0005	
			$f_{fdd} =$	127.29	MPa
$f_{fdd} = \frac{0.17}{\gamma_{f,d} \cdot \sqrt{\gamma_M}} \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot \sqrt{f_{mk} \cdot f_{mtm}}}{t_f}}$					

La tensione di progetto nel rinforzo ovvero il valore della massima tensione alla quale il rinforzo può lavorare nella sezione terminale di ancoraggio, a cui corrisponde la massima deformazione di progetto che può essere consentita al rinforzo senza che si manifestino problemi di decoesione, è pari a 175 MPa per la calcarenite e 127 MPa per il laterizio.

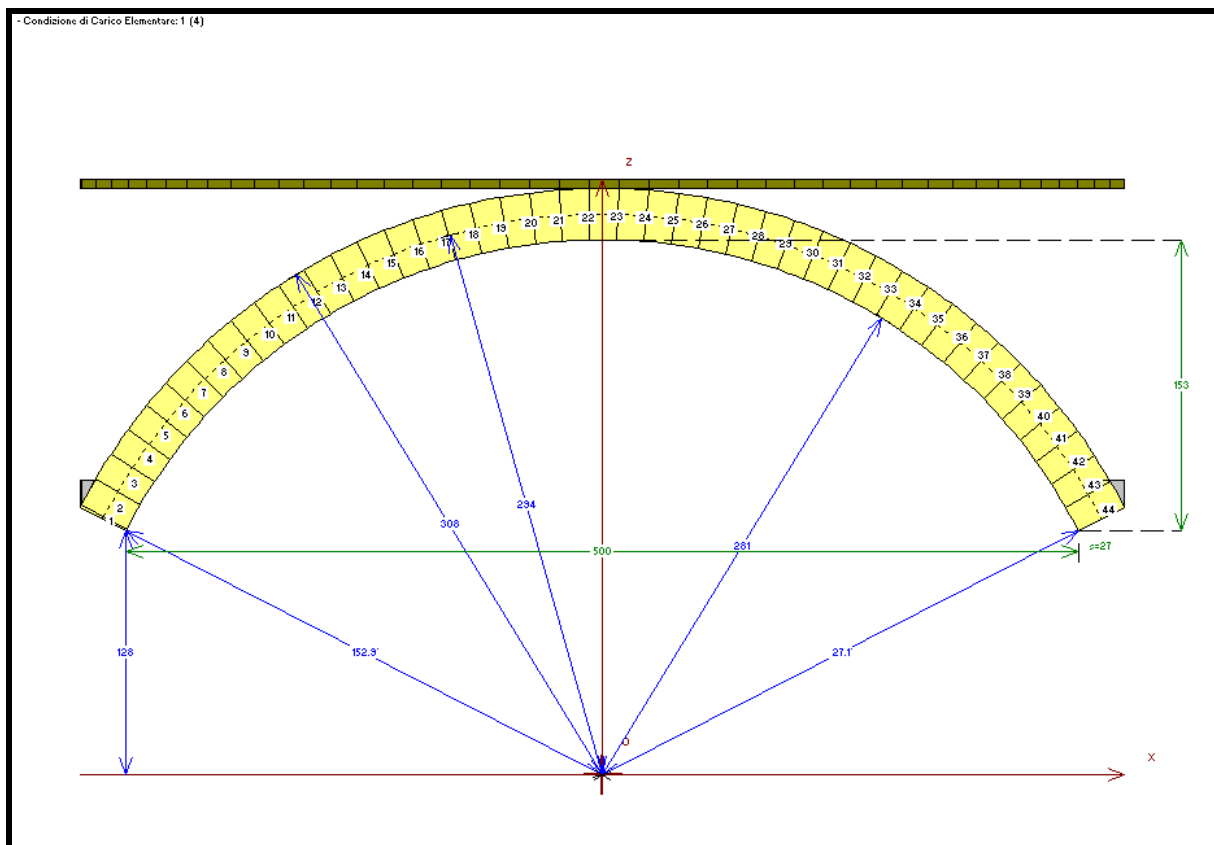
2.7 VERIFICA DI SICUREZZA DELLE VOLTE CONSOLIDATE

2.7.1 Verifica VOLTA TIPO 1

La VOLTA TIPO 1 è stata indicata negli elaborati grafici di progetto. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1m$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite) = 1600 kg/m³
- Controvolta in PVA ($s = 2$ cm) = 1900 kg/m³
- Carico permanente intonaco di cocciopesto = 90 kg/m²
- Carico accidentale = 200 kg/m²
- Carico neve = 48 kg/m²

NUMERAZIONE DEI CONCI



Dati: PROGETTO, STRUTTURA, CARICHI (CCE e CCC)

Dati PROGETTO

I dati del Progetto consentono l'impostazione della tipologia della struttura voltata. In particolare:

Tipologia = qualifica la struttura come Volta cilindrica (a botte), suddivisa idealmente in più archi (detti: Archi Ideali), o come Singolo Arco.

Geometria della curva: arco = identifica la curva descrittiva dell'arco (sezione trasversale della Volta).

Dati STRUTTURA

I dati della struttura voltata sono organizzati in **sette gruppi (Volta, Arco, Muri/Piedritti, Contorno, Muratura (1), Muratura (2), Rinforzi)**.

Volta

N° di Condizioni di Carico Elementari (CCE), N° di Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari (CCC) = i carichi vengono descritti nel seguito, nel paragrafo: 'Dati Carichi';

Profondità: Ly = indica la profondità della Volta (dimensione in pianta in direzione Y). La somma delle profondità Ly dei singoli Archi Ideali costituenti la Volta coincide necessariamente con la profondità della Volta. Nel caso di Arco Singolo, ovviamente, la profondità della Volta coincide con la profondità del Singolo Arco, tranne il caso di archi definiti per punti o policentrici, dove le profondità possono essere variate per ogni singolo concio (arco per punti) o per ogni singolo arco di circonferenza componente (policentrico);

Numero di Archi Ideali di calcolo = indica il numero di archi in cui viene suddivisa la struttura voltata. Tale numero è pari a 1 nel caso di Singolo Arco.

Dati Archi Ideali:

Ly = profondità del singolo Arco Ideale;

Catena = se attivata, indica il contributo statico di una catena (tirante metallico);

d, Z, fyd = dati della catena: diametro, quota assoluta (rispetto allo zero del riferimento XZ) e tensione di snervamento.

Nel caso di catene non aventi sezione circolare (ad es. quadrelli) occorre specificare un diametro 'equivalente' in modo che la sezione metallica resistente sia identica.

Il procedimento numerico scarica i casi di catene compresse (ritenute in sbandamento per carico di punta, e quindi inefficaci) ed eseguirà la verifica a trazione confrontando l'eventuale tensione di trazione (=sforzo normale diviso l'area del tondino) con la resistenza allo snervamento specificata in input.

Arco

Contiene i parametri che, in base alla tipologia, descrivono la configurazione geometrica dell'arco.

Di seguito riportiamo, per ogni tipologia, l'elenco dei parametri in input (cioè dei parametri modificabili dall'Utente; altri parametri, per ogni tipologia di arco, vengono derivati dai dati in input, ad esempio: gli angoli di imposta per l'arco circolare a sesto ribassato).

- Arco Circolare a tutto sesto (spessore costante o variabile)

Freccia (coincide con il raggio di intradosso); spessore all'imposta; spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro della circonferenza di intradosso. Se l'arco ha spessore variabile (spessore d'imposta maggiore

dello spessore in chiave), il centro della circonferenza d'estradosso ha Z negativa (sull'asse Z, η localizzato in un punto sottostante l'origine). Se l'arco ha spessore costante, il centro della circonferenza d'estradosso coincide con l'origine, cioè con il centro della circonferenza d'intradosso.

- Arco Circolare a sesto ribassato (spessore costante o variabile)

Freccia; corda; spessore all'impasta; spessore in chiave. Lo spessore all'impasta η la lunghezza del giunto (interfaccia del concio) all'impasta, misurata sul raggio della circonferenza di intradosso. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nel centro della circonferenza di intradosso.

- Arco Circolare zoppo (spessore costante)

Freccia; corda (la corda si riferisce alla proiezione orizzontale dell'intradosso compresa fra il punto d'impasta di intradosso a quota inferiore e la chiave dell'arco); altezza di impasta sinistra; altezza di impasta destra; spessore. L'altezza d'impasta rappresenta la distanza verticale fra i vertici estremi di intradosso. Solo una delle due altezze d'impasta (la sinistra o la destra) può essere diversa da zero. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nel centro comune delle circonferenze di intradosso e di estradosso.

- Arco Circolare a sesto acuto (spessore costante)

Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso. Qualora gli angoli alle imposte non siano 180° per la sinistra e 0° per la destra, si dovrà fare riferimento all'estensione degli archi di circonferenza d'intradosso fino all'orizzontale passante per i centri delle due circonferenze corrispondenti ai semiarchi di destra e di sinistra); angolo d'impasta sinistro; angolo d'impasta destro (per archi a sesto acuto simmetrici a sviluppo completo, si avrà: angolo d'impasta sinistro pari a 180° e destro pari a 0°); spessore. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nell'intersezione della retta orizzontale congiungente i centri dei due semiarchi con l'asse verticale dell'arco determinato dall'interfaccia in chiave (asse di simmetria nel caso di semiarchi uguali). Qualunque sia il criterio di suddivisione dell'arco in conci, viene sempre predisposta un'interfaccia lungo l'asse verticale Z.

- Arco Circolare a sesto acuto (spessore variabile)

Parametri analoghi al caso dell'arco a sesto acuto a spessore costante, con i seguenti significati per gli spessori: lo 'spessore in chiave s,c' η la lunghezza di interfaccia in chiave (misurato in direzione verticale, lungo l'asse Z); lo 'spessore s' coincide con lo spessore all'impasta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'impasta sinistra, l'angolo di imposta non η pari a 180° , si deve idealmente proseguire la circonferenza di intradosso fino all'asse X, e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale.

- Arco Policentrico

Angolo di imposta sinistro; numero di Archi Elementari (=archi di circonferenza componenti la policentrica); Raggi, Angoli, Spessori e Profondità degli Archi Elementari. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nel vertice di intradosso iniziale del primo Arco Elementare (il n°1, arco iniziale più a sinistra).

- Arco Ellittico (spessore costante o variabile)

Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso, cioè all'asse orizzontale dell'ellisse di intradosso); angolo d'impasta sinistro (gli angoli di imposta si riferiscono all'ellisse media, cioè all'asse dell'arco); angolo d'impasta destro; spessore all'impasta (η lo spessore all'impasta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'impasta sinistra, l'angolo di imposta non η pari a 180° , si deve idealmente proseguire l'arco d'ellisse di intradosso fino all'asse orizzontale dell'ellisse (asse X), e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale); spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nel centro dell'ellisse.

- Arco Per Punti

Angolo di imposta sinistro; angolo di imposta destro; profilo di estradosso continuo (in caso affermativo, la curva di estradosso collega con continuità i conci senza scalini dovuti alle variazioni di spessore); numero di Punti; Coordinate Intradosso, Spessori e Profondità in corrispondenza dei Punti. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η automaticamente posta nel vertice di intradosso iniziale.

- Piattabanda

Luce inferiore; luce superiore; spessore all'impasta; spessore in chiave. Gli spessori sono misurati in direzione verticale; quello all'impasta, a partire dall'origine degli assi (cioi dal vertice d'intradosso iniziale), e quello in chiave lungo l'asse di simmetria (asse verticale di mezzeria). L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ η posta nel vertice iniziale (sinistro) d'intradosso.

Muri / Piedritti

Contiene i parametri che descrivono le strutture d'impasta della Volta, muri (nel caso di struttura voltata estesa) o piedritti (corrispondenti al caso del Singolo Arco).

Separatamente per piedritto sinistro e per piedritto destro, vengono specificati i seguenti parametri.

- Altezza;

- Tipologia della sezione (Rettangolare, Circolare, Ottagonale). Per la sezione Rettangolare: dimensione lungo l'asse X (L_x) superiore (sommità) e inferiore (base), e dimensione lungo l'asse Y (L_y). Per la sezione Rettangolare η quindi possibile specificare piedritti a sezione variabile linearmente in altezza; η inoltre possibile specificare se la superficie d'intradosso (interna alla Volta) η verticale: questo parametro ha influenza ovviamente solo nel caso di sezione variabile in altezza. Per la sezione Rettangolare η inoltre possibile specificare se il piedritto η unico oppure viene suddiviso in porzioni corrispondenti agli Archi Ideali che vi si impostano. Se il piedritto η unico (non diviso), tutte le azioni di imposta provenienti dai vari Archi Ideali vengono composte sulla sezione di sommità del piedritto stesso. Per la sezione Circolare, viene richiesto il diametro; per la sezione Ottagonale, il lato. Nel caso di Volta composta da più Archi Ideali, la sezione dei piedritti η obbligatoriamente rettangolare;

- Distanza dX fra superficie interna del piedritto e punto di intradosso dell'impasta dell'arco;

- Dimensioni della fondazione: altezza e dimensioni lungo X e lungo Y.

Contorno

Questo gruppo di dati contiene i parametri che descrivono le strutture di contorno: Rinfianchi, Sottofondo, Pavimentazione. I rinfianchi (o riempimento) sono definiti dal volume sovrastante l'arco fino al massimo alla quota di estradosso in chiave (o fino ad una quota inferiore rispetto alla linea orizzontale di chiave, quota definita dalla distanza dalla linea di chiave stessa).

Si parla, più propriamente, di 'rinfianchi' quando la struttura di contorno assume valenza strutturale, mentre il 'riempimento' corrisponde a materiale avente semplicemente la funzione di peso sull'arco. E' noto che il peso del rinfianco o riempimento svolge un ruolo generalmente benefico sulla statica dell'arco, stabilizzandone la curva delle pressioni (anche se una massa eccessiva potrebbe non essere favorevole per il comportamento sismico della struttura). Le strutture sovrastanti (sottofondo, pavimentazione) si impostano immediatamente sopra la linea di chiave dell'arco.

In SAV, rinfianchi, sottofondo e pavimentazione svolgono un ruolo di puro carico nei confronti dell'unico elemento strutturale analizzato, cioè l'arco. Nella realtà, tali sovrastrutture esercitano anche un ruolo di vincolo e, in certi casi, di struttura resistente. Per esempio, la verifica sismica condotta sul solo arco in presenza di una solidarizzazione alla muratura di contorno (η il caso di un arco inserito come apertura nella facciata di un edificio) η sicuramente a vantaggio di sicurezza, in quanto nella realtà la funzione strutturale dell'arco verrà 'integrata' dalla collaborazione col resto della struttura.

Infine, lo spessore di sottofondo e/o pavimentazione pur contribuire alla diffusione dei carichi applicati, pensati agenti sulla superficie superiore della struttura (quindi, p.es. sopra la pavimentazione). Un carico generico (di superficie, lineare o concentrato) verrà infatti diffuso a 45° entro tale spessore, qualora la corrispondente opzione sia attivata nella definizione del carico stesso (nell'ambito di definizione delle CCE).

Muratura (1), (2)

I gruppi di dati Muratura contengono i parametri che descrivono il materiale murario: (1) della Volta; (2) dei Piedritti.

- **Resistenza media a compressione f_m** = può essere nota da prove sperimentali, oppure ricavata da formulazioni proposte in Normativa. La Normativa Italiana ha aggiornato i dati riguardanti la muratura esistente nella tabella C8B.1 della Circolare al D.M.14.1.2008; tuttavia si deve tener presente che tali parametri fanno riferimento a 'pareti murarie portanti' e quindi per le murature degli archi la situazione può essere anche molto diversa. Si pensi ad esempio agli archi con giunti a secco, dove la resistenza a compressione diventa quella tipica della pietra, con valori certamente più elevati rispetto a quelli proposti dalla Norma citata;

- **Resistenza a Compressione di progetto f_d** = si ottiene dividendo f_m per il **Fattore di Confidenza**. Viene utilizzata nelle verifiche a compressione delle sezioni murarie;

- **Peso Specifico**;

- **Giunti: Angolo d'attrito** = rappresenta il valore dell'angolo d'attrito interno fra due blocchi (conci) consecutivi, utilizzato per le verifiche a scorrimento. Nel caso di presenza di malta, il valore normalmente utilizzato è 35°; nel caso di muratura a secco occorre inserire l'angolo d'attrito fra blocchi di pietra.

Rinforzi

Il gruppo di dati Rinforzi consente la descrizione delle eventuali strutture di rinforzo previste per l'arco consolidato.

I rinforzi sono distinti in due gruppi:

- rinforzi di superficie, che interessano la superficie di intradosso o di estradosso dell'arco;

- rinforzi puntuali, caratterizzati dalle catene. Per ogni Arco Ideale costituente la Volta, è possibile definire una catena nel gruppo dati 'Volta'. Le catene negli archi possono essere inserite contemporaneamente a rinforzi di superficie.

Per quanto riguarda i rinforzi di superficie, è possibile specificare alternativamente tre tipologie:

- **cappa in calcestruzzo**, avente un certo spessore, armata con la rete elettrosaldata specificata (considerata per default in acciaio FeB44k);

- **fasce in composito fibrorinforzato** a matrice polimerica (FRP, sigla di "Fiber Reinforced Plastic"), posti in estradosso oppure in intradosso.

Dal punto di vista dell'analisi strutturale, nel procedimento di calcolo sarà possibile accettare trazioni nel lato rinforzato, fermo restando il vincolo di garantire che la muratura sia sempre compressa (cioè che vi siano solo sforzi di compressione nel lato sola muratura). Le trazioni, laddove insorgano sul lato rinforzato, saranno utilizzate per la verifica della struttura di rinforzo, e più precisamente per la verifica della rete e.s. nel caso della cappa o dei fasce tesi nel caso dei compositi fibrorinforzati.

Per la rete e.s. il confronto dello sforzo di trazione sarà svolto con la capacità di resistenza della rete, con riferimento al numero di tondini incontrati lungo la profondità dell'arco e alla tensione di snervamento dell'acciaio FeB44k ($3740 \text{ kgf/cm}^2 = 374 \text{ N/mm}^2$).

Per i fasce in FRP, lo sforzo sarà confrontato con la resistenza a trazione di progetto. L'elaborazione di calcolo prevede in tal caso la possibilità di definire le superfici di nastro ottimali, necessarie a garantire la verifica di resistenza a trazione. I dati richiesti per i fasce in FRP (la cui tipologia può essere varia: carbonio ad alta resistenza, vetro, polivinilalcol, ecc.) sono i seguenti:

- **Spessore** = nel caso di più strisce sovrapposte, occorre specificare lo spessore complessivo;

- **Resistenza caratteristica a trazione f_{tk}** , e **Resistenza a trazione di progetto f_{td}** , ricavata dall'applicazione di un opportuno coefficiente di sicurezza a f_{tk} . Il valore di tale coefficiente di sicurezza dipende anche dalla considerazione che la fibra può non lavorare al massimo della trazione consentita senza prima essersi distaccata dalla superficie muraria; pertanto, l'adozione di un coefficiente cautelativo (p.es. 10) consente di considerare il massimo valore di trazione che l'unione fibra-muratura può effettivamente sostenere.

Dati CARICHI

I dati sui Carichi vengono suddivisi in: Condizioni di Carico Elementari (CCE), e Combinazioni di Condizioni di Carico elementari (CCC). Nelle CCE vengono definiti i vari carichi in input.

CCE (Condizioni di Carico Elementari)

I carichi agenti sulla struttura voltata sono articolati in: carichi di superficie, lineari e concentrati. Sono tutti carichi verticali che insistono sull'estradosso della struttura voltata, e più esattamente alla quota Z dell'estradosso della pavimentazione. Per ognuno di tali carichi, è possibile specificare se eseguire la diffusione a 45° nello spessore sovrastante la linea di chiave (spessore determinato da sottofondo e/o pavimentazione). In tal caso, se tale spessore è >0, il carico da diffondere, di qualunque tipo sia, genera un'area di carico (diventando di fatto un carico di superficie), poiché la diffusione a 45° opera in tutte le direzioni.

Per ognuno dei carichi è possibile inoltre specificare se è affetto da moltiplicatore verticale e/o da moltiplicatore orizzontale (tutti i carichi corrispondenti a masse dovrebbero essere affetti da moltiplicatore orizzontale, per rappresentare la forza d'inerzia corrispondente all'azione sismica).

Carichi di superficie: DimX, DimY, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

DimX, DimY = dimensioni dell'area rettangolare di carico;

X, Y = coordinate in pianta del vertice inferiore sinistro dell'area di carico (t.c. il baricentro di carico è posto a:

$(X + \text{DimX}/2, (Y + \text{DimY}/2))$);

q (kgf/m^2 - kN/m^2) = carico verticale di superficie.

Carichi lineari: Lungo X, Dim, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

Lungo X = orientamento del carico, secondo X se affermativo, secondo Y altrimenti;

Dim = lunghezza della linea di carico;

X, Y = coordinate in pianta del vertice inferiore sinistro del carico (t.c. il baricentro è posto a: $(X + \text{Dim}/2, Y)$ per carichi secondo X;

$X, (Y + \text{Dim}/2)$ per carichi secondo Y);

q (kgf/m - kN/m) = carico verticale lineare uniformemente distribuito.

Carichi concentrati: X, Y, P, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

X, Y = coordinate in pianta del punto di applicazione del carico;

P (kgf - kN) = carico verticale concentrato.

Il **Moltiplicatore verticale (Molt. vert.)** interessa tutti i carichi che si ritiene possano crescere proporzionalmente; il **Moltiplicatore orizzontale (Molt. orizz.)** interessa i carichi verticali da tradurre in forze sismiche (dettagli nel paragrafo dedicato alle CCC).

Carichi aggiuntivi sui piedritti: azioni concentrate (verticali e/o orizzontali) derivanti ad esempio da strutture sovrastanti o da spinte di strutture a volta adiacenti a quella esaminata; il punto di applicazione μ posto ad una quota misurata rispetto alla sommità del piedritto e positiva verso il basso (quindi Quota=0 per le azioni sulla sezione di sommità), ossia controversa all'asse di riferimento globale Z

Pied.sx, Fx, Fz, Ex, Ey, Quota, Stat., Sism.+X, Sism.-X

Pied.sx = sinistro se affermativo, destro altrimenti;

Fx, Fz (kgf o kN) sono le due componenti (+/-) del carico aggiuntivo sul piedritto:

Fx = componente orizzontale (secondo X), nel piano della struttura voltata, positiva se agente verso l'interno della struttura voltata;

Fz = componente verticale (secondo Z), positiva se agente verso il basso;

Ex, Ey = eccentricità (+/-) del punto di applicazione del carico aggiuntivo. **Ex** μ la distanza dall'intradosso dell'arco, positiva verso l'interno della struttura voltata; **Ey** μ la distanza dall'asse X (in pianta, l'asse X μ posto nel piano d'imposta del fronte anteriore della struttura voltata, ossia, in altri termini, in basso, nella pianta, all'inizio della struttura);

Quota = quota (+/-) del punto di applicazione del carico rispetto alla sommità del piedritto, positiva verso il basso (controversa all'asse Z);

Stat., Sism.+X, Sism.-X = opzioni che indicano se il carico aggiuntivo deve essere considerato nell'analisi statica o nelle analisi sismiche secondo X, rispettivamente nel verso positivo (+X) e negativo (-X).

La **tabella delle CCE** μ cosm composta:

N°, Commento, Psi,2 (quasi perm.), P.p. volta, P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx, P.p. sottof., P.p. pavim.,

Carichi di superficie, Carichi lineari, Carichi concentrati, Car.aggiuntivi sui piedritti

dove:

Psi,2 (S.L.U.) = con riferimento alla Normativa tecnica Italiana (D.M. 14.1.2008, § 3.2.4), μ un coefficiente che tiene conto della probabilità di presenza del carico in fase sismica. Verrà posto pari a 0 per le CCE che non si vuole influiscano sull'analisi sismica; altrimenti, assumerà i valori $\Psi_{i,2} = 1$, per carichi permanenti, e $\Psi_{i,2} < 1$ per carichi variabili. Per condurre una corretta analisi sismica, le CCE dovranno quindi essere suddivise almeno in tante condizioni di carico quanti sono i gruppi di carico corrispondenti a valori di $\Psi_{i,2}$ distinti (in genere: una CCE per i carichi permanenti, una per ogni tipo di carico variabile indipendente);

P.p. volta, P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx, P.p. sottof., P.p. pav. = opzioni che definiscono l'influenza dei pesi propri nella CCE. Ai pesi propri non viene mai associato il moltiplicatore dei carichi verticali (che per suo stesso significato fisico sarà applicato a carichi di natura variabile, non a permanenti), ma viene invece sempre associato il moltiplicatore dei carichi orizzontali (trattandosi di masse permanenti);

Carichi di superficie, Carichi lineari, Carichi concentrati, Car.aggiuntivi sui piedritti = carichi specificati in input in dettaglio, secondo le indicazioni di cui sopra.

CCC (Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari)

L'**Analisi Statica** viene eseguita per tutte le CCC (Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari) specificate. Le CCC possono essere definite utilizzando i coefficienti amplificativi previsti dal metodo agli Stati Limite per le verifiche statiche. E' possibile studiare anche più tipi di combinazioni (p.es. con mezzi rinfianchi, o con alcuni carichi piuttosto che altri).

Per ogni CCC si può calcolare, se richiesto nei Parametri di Calcolo, il moltiplicatore di carico verticale facendo crescere tutti i carichi affetti da Molt. vert. contenuti nelle CCE che costituiscono la CCC.

L'**Analisi Sismica** viene eseguita per 1 sola combinazione, considerando agenti:

a) i carichi verticali corrispondenti a tutte le CCE affetti dai valori $\Psi_{i,2}$ corrispondenti, e che abbiano specificato il Molt. orizz. (essi corrispondono a masse);

b) i carichi orizzontali corrispondenti al moltiplicatore orizzontale in input, applicato a tutti i carichi di cui al punto a). In pratica, con i carichi di cui al punto a) si calcolano tutte le azioni verticali nei conci; ognuna di queste azioni viene poi moltiplicata per il moltiplicatore orizzontale in input, per ottenere la corrispondente azione sismica (agente in direzione orizzontale X). Il valore del moltiplicatore orizzontale in input viene specificato nei Parametri di Calcolo.

Se l'Analisi Sismica richiede anche la determinazione del moltiplicatore di collasso, il moltiplicatore viene fatto crescere progressivamente sino a raggiungere la configurazione di collasso.

Il **moltiplicatore di collasso della struttura voltata**, sia per carichi verticali, sia per carichi orizzontali, viene sempre determinato con riferimento alla Volta, come minimo valore fra tutti i moltiplicatori determinati per gli archi ideali costituenti la Volta, distintamente fra le tre analisi possibili (Statica, Sismica +X, Sismica -X).

DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco

Geometria della curva: arco Circolare a sesto ribassato (s=cost.)

con rinforzo in estradosso

[Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_Tipo_1]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100

N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:

Freccia.....(cm) = 153

Corda.....(cm) = 500

Spessore.....(cm) = 27

>>> Altri parametri:

Angolo imposta a°,sx....(°) = 152.9

a°,dx....(°) = 27.1

Raggio Intradosso R,i..(cm) = 281

Raggio Estradosso R,e..(cm) = 308

Angolo di apertura phi..(°) = 125.9

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:

Altezza.....(cm) = 695

Sezione: Rettangolare

Lx Sup (sommità).....(cm) = 130

Lx Inf (base).....(cm) = 130

Ly(cm) = 100

Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:

Altezza.....(cm) = 695

Sezione: Rettangolare

Lx Sup (sommità).....(cm) = 105

Lx Inf (base).....(cm) = 105

Ly(cm) = 100

Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):

Dist.da linea di chiave(cm) = 153

Peso specifico....(kgf/m³) = 900

> Sottofondo:

Spessore.....(cm) = 5

Peso specifico....(kgf/m³) = 1800

- MURATURA VOLTA

Tipologia: Blocchi di tufo di buona qualità

Resistenza caratteristica a Compressione f,k (kgf/cm²) = 19

Resistenza a compressione di progetto: f,d = (1/1.2) f,k

Peso Specifico equivalente(kgf/m³) = 1630

GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)

Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 19

Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m

Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) = 1630

GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)

Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 19

Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m

Peso Specifico.....(kgf/m³) = 1600

GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0
Lineari: $X(=1)/Y(=0)$, Dim, X, Y (cm), q (kgf/m - kN/m), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.
0
Concentrati: X, Y (cm), P (kgf - kN), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.
0
Aggiuntivi sui piedritti: $S_x(=1)/D_x(=0)$, F_x, F_z (kgf - kN), ex, z' (cm), stat., sism. +X, sism. -X
0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi), 2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)", 1

PESI PROPRI

Volta, Rinf. Sx, Rinf. DX, Sottot, Pavimentazione (-1 = sì, 0 = no)

0, 0, 0, -1, -1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX, DimY, X, Y (cm), q (kgf/m² - kN/m²), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Lineari: $X(=1)/Y(=0)$, Dim, X, Y (cm), q (kgf/m - kN/m), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Concentrati: X, Y (cm), P (kgf - kN), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: $S_x(=1)/D_x(=0)$, F_x, F_z (kgf - kN), ex, z' (cm), stat., sism. +X, sism. -X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi), 2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)", .3

PESI PROPRI

Volta, Rinf. Sx, Rinf. DX, Sottot, Pavimentazione (-1 = sì, 0 = no)

0, 0, 0, 0, 0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX, DimY, X, Y (cm), q (kgf/m² - kN/m²), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

1, 500, 100, -250, 0, 200, -1, -1, -1

Lineari: $X(=1)/Y(=0)$, Dim, X, Y (cm), q (kgf/m - kN/m), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Concentrati: X, Y (cm), P (kgf - kN), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: $S_x(=1)/D_x(=0)$, F_x, F_z (kgf - kN), ex, z' (cm), stat., sism. +X, sism. -X

0

Carico neve

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi), 2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)", 0

PESI PROPRI

Volta, Rinf. Sx, Rinf. DX, Sottot, Pavimentazione (-1 = sì, 0 = no)

0, 0, 0, 0, 0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX, DimY, X, Y (cm), q (kgf/m² - kN/m²), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

1, 500, 100, -250, 0, 48, -1, -1, -1

Lineari: $X(=1)/Y(=0)$, Dim, X, Y (cm), q (kgf/m - kN/m), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Concentrati: X, Y (cm), P (kgf - kN), diff. 45°, molt. vert., molt. orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: $S_x(=1)/D_x(=0)$, F_x, F_z (kgf - kN), ex, z' (cm), stat., sism. +X, sism. -X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1, "Combinazione n° 1", 1.3, 1.5, 1.5, .75

Dati: Carichi nei Conci (CCE)

Per ogni Arco Ideale, i dati sui Carichi nei Conci si riferiscono alle forze generate dalle varie CCE nei conci. Queste forze vengono tra loro combinate secondo i coefficienti delle Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari, al fine di

determinare le azioni di calcolo dei conci, utilizzate direttamente nel procedimento risolutivo dell'analisi strutturale. I carichi nei conci non sono dati in input diretto, ma derivano dai dati sulla struttura voltata e sulle CCE. Insieme ai carichi, vengono anche riportate le coordinate del baricentro dei conci nel sistema di riferimento assoluto XZ.

Per ogni carico, il parametro Dx indica l'eccentricità della retta d'azione verticale del carico rispetto al baricentro del concio. Dx è positiva se la retta d'azione del carico si trova a destra rispetto al baricentro (ossia è definita da un'ascissa positiva). Nel caso di P.p., peso proprio della Volta, il carico, per sua stessa natura, è applicato nel baricentro del concio e quindi ha eccentricità nulla.

In dettaglio, i carichi sono i seguenti:

- **P.p.** = Carico sul concio determinato dal peso proprio dell'arco (ossia del concio stesso). Per sua stessa natura, questo carico ha eccentricità nulla in quanto il peso proprio è applicato nel baricentro;
- **P.p. rinf.** = Carico sul concio determinato dal peso proprio del rinfianco (o riempimento);
- **P.p. sottof.** = Carico sul concio determinato dal peso proprio del sottofondo;
- **P.p. pavim.** = Carico sul concio determinato dal peso proprio del sottofondo;
- **Car.sup.** = Carico sul concio determinato dai Carichi di superficie;
- **Car.lin.** = Carico sul concio determinato dai Carichi lineari, secondo X e secondo Y;
- **Car.conc.** = Carico sul concio determinato dai Carichi concentrati.

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm

Baricentri (cm)

N.	Xg	Yg
1	-261.9	134.6
2	-258.0	141.8
3	-250.4	154.8
4	-242.2	167.4
5	-233.4	179.5
6	-223.9	191.1
7	-213.9	202.3
8	-203.3	212.9
9	-192.2	223.0
10	-180.6	232.5
11	-168.5	241.4
12	-156.0	249.7
13	-143.1	257.3
14	-129.8	264.3
15	-116.1	270.5
16	-102.2	276.1
17	-88.0	281.0
18	-73.6	285.1
19	-58.9	288.5
20	-44.2	291.1
21	-29.3	293.0
22	-14.3	294.1
23	0.7	294.4
24	15.7	294.0
25	30.7	292.8
26	45.5	290.9
27	60.3	288.2
28	74.9	284.7
29	89.3	280.5
30	103.5	275.6
31	117.4	270.0
32	131.0	263.7
33	144.3	256.6
34	157.2	249.0
35	169.7	240.6
36	181.7	231.7
37	193.3	222.1
38	204.3	212.0
39	214.9	201.3
40	224.8	190.1
41	234.2	178.4
42	243.0	166.2
43	251.2	153.6
44	258.7	140.6

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	conc
1	6	1	-11.8										
2	66	4	-12.9										
3	66												
4	66												

5	66													
6	66													
7	66													
8	66													
9	66													
10	66													
11	66													
12	66													
13	66													
14	66													
15	66													
16	66													
17	66													
18	66													
19	66													
20	66													
21	66													
22	66													
23	66													
24	66													
25	66													
26	66													
27	66													
28	66													
29	66													
30	66													
31	66													
32	66													
33	66													
34	66													
35	66													
36	66													
37	66													
38	66													
39	66													
40	66													
41	66													
42	66													
43	66	0	14.5											
44	66	5	12.7											

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1				1	-11.8								
2				7	-11.6								
3				7	-11.3								
4				8	-10.9								
5				9	-10.5								
6				9	-10.1								
7				10	-9.6								
8				10	-9.1								
9				11	-8.6								
10				11	-8.1								
11				12	-7.6								
12				12	-7.0								
13				12	-6.4								
14				13	-5.8								
15				13	-5.2								
16				13	-4.6								
17				13	-4.0								
18				14	-3.3								
19				14	-2.6								
20				14	-2.0								
21				14	-1.3								
22				14	-0.6								
23				14	0.0								
24				14	0.7								
25				14	1.4								
26				14	2.0								
27				14	2.7								
28				14	3.4								
29				13	4.0								
30				13	4.7								

31				13	5.3							
32				13	5.9							
33				12	6.5							
34				12	7.1							
35				12	7.6							
36				11	8.2							
37				11	8.7							
38				10	9.2							
39				10	9.7							
40				9	10.1							
41				9	10.5							
42				8	10.9							
43				7	11.3							
44				7	11.6							

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	conc
1													
2													
3													
4							11	-9.6					
5							17	-10.5					
6							18	-10.1					
7							19	-9.6					
8							20	-9.1					
9							21	-8.6					
10							22	-8.1					
11							23	-7.6					
12							24	-7.0					
13							24	-6.4					
14							25	-5.8					
15							26	-5.2					
16							26	-4.6					
17							27	-4.0					
18							27	-3.3					
19							27	-2.6					
20							28	-2.0					
21							28	-1.3					
22							28	-0.6					
23							28	0.0					
24							28	0.7					
25							28	1.4					
26							28	2.0					
27							27	2.7					
28							27	3.4					
29							27	4.0					
30							26	4.7					
31							26	5.3					
32							25	5.9					
33							24	6.5					
34							24	7.1					
35							23	7.6					
36							22	8.2					
37							21	8.7					
38							20	9.2					
39							19	9.7					
40							18	10.1					
41							17	10.5					
42							10	9.2					
43													
44													

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 4

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	conc
1													
2													
3													
4							3	-9.6					
5							4	-10.5					

6							4	-10.1				
7							5	-9.6				
8							5	-9.1				
9							5	-8.6				
10							5	-8.1				
11							6	-7.6				
12							6	-7.0				
13							6	-6.4				
14							6	-5.8				
15							6	-5.2				
16							6	-4.6				
17							6	-4.0				
18							6	-3.3				
19							7	-2.6				
20							7	-2.0				
21							7	-1.3				
22							7	-0.6				
23							7	0.0				
24							7	0.7				
25							7	1.4				
26							7	2.0				
27							7	2.7				
28							6	3.4				
29							6	4.0				
30							6	4.7				
31							6	5.3				
32							6	5.9				
33							6	6.5				
34							6	7.1				
35							5	7.6				
36							5	8.2				
37							5	8.7				
38							5	9.2				
39							5	9.7				
40							4	10.1				
41							4	10.5				
42							2	9.2				
43												
44												

PARAMETRI DI CALCOLO

ANALISI

Analisi Statica = viene indicato se si esegue il calcolo del moltiplicatore di collasso in direzione verticale

Analisi Sismica = viene indicato se si esegue o meno l'analisi sismica, ed il valore del moltiplicatore dei carichi in direzione orizzontale in input. Oltre all'analisi sismica con tale moltiplicatore, si indica anche se viene calcolato il moltiplicatore di collasso in direzione orizzontale, nei due versi: +X e -X.

Per le Verifiche Sismiche con Analisi Cinematica (per Meccanismi di Collasso) secondo D.M. 14.1.2008, §C8D, sono inoltre indicati i seguenti parametri:

Imposta Sinistra della struttura voltata: Quota da fondazioni;

Accelerazione al suolo a,g (P,VR=10%) per Stato Limite di salvaguardia della Vita (stato limite ultimo);

Coefficiente S per categoria di sottosuolo e condizioni topografiche ($S = S_s \cdot S_T$);

Fattore di Importanza (γ), I (fattore moltiplicativo delle azioni sismiche; 1.00 per NON ridurre le azioni) [Direttive PCM 12.10.2007, §2.4];

Fattore di confidenza FC = 1.35, corrispondente a LC1 poiché il meccanismo di collasso rigido-fragile non tiene conto della resistenza a compressione della muratura [§C8D.2.2, §C8A.1.4]).

Analisi dei Piedritti = può essere o meno attivata. In caso negativo, l'analisi viene limitata alla sola struttura voltata.

VERIFICHE

Oltre alla Verifica di Stabilità, sempre eseguita, possono essere condotte anche le verifiche ad Attrito (Taglio nei giunti) e a Compressione della muratura.

Per le **Verifiche ad attrito** (scorrimento nei giunti determinato dal taglio), il valore del taglio T dovrà essere sempre inferiore alla forza di attrito $T \leq f \cdot N$, dove per f si assume il coefficiente di attrito fra conci contigui, che nel caso di presenza di malta e il coefficiente di attrito interno della malta. L'angolo d'attrito ϕ è specificato nella scheda Materiali della finestra Dati Arco, ed in corrispondenza del suo valore viene aggiornato, alla sua destra, il valore di f (essendo $f = \tan \phi$). Verificare che sia: $T \leq f \cdot N$ significa verificare che i lati della curva delle pressioni formino un angolo minore di ϕ con le normali alle sezioni dell'arco se non si vuole avere uno scorrimento fra i conci. Il coefficiente di sicurezza in input viene applicato a tale verifica in modo che, p.es. nel caso di valore 1.5, deve aversi:

$$T \leq f \cdot N / 1.5.$$

La **Verifica a Compressione della muratura** viene svolta mediante l'ausilio di fogli elettronici di calcolo che consentono di determinare il dominio di resistenza della sezione mista rinforzata. Infatti la sezione di verifica della volta a seguito dell'intervento di rinforzo è costituita dalla muratura esistente, dalla contro-volta in malta fibrorinforzata e dalla rete in carbonio. In taluni casi la verifica viene condotta confrontando la tensione massima agente sulla sezione trasversale dell'arco con il limite di riferimento, dato dalla resistenza a compressione di progetto. La tensione viene calcolata nell'ipotesi di diagramma trapezoidale se lo sforzo normale è interno al nocciolo d'inerzia, triangolare con sola resistenza a compressione (quindi con zona reagente minore della sezione) se lo sforzo normale è esterno al nocciolo d'inerzia. Qualora lo sforzo normale sia tangente al bordo di estradosso o intradosso (in corrispondenza della formazione di una cerniera) o esterno, la verifica viene

condotta mediante la costruzione del dominio di resistenza a presso-flessione della sezione e controllando che la sollecitazione di calcolo sia al suo interno.

Per i **Rinforzi in FRP**, la larghezza dei fasce può essere ottimizzata, progettandola in base agli sforzi di trazione risultanti dal calcolo, e alle caratteristiche del rinforzo stesso (spessore, resistenza a trazione di progetto). E' inoltre possibile specificare una larghezza minima del nastro. Nel caso che l'ottimizzazione della larghezza del nastro non sia selezionata, la larghezza verrà posta automaticamente pari alla profondità dell'Arco Ideale.

Risultati ANALISI STATICA

MODELLO DI CALCOLO

La metodologia di calcolo è stata sviluppata dal Dipartimento di Costruzioni dell'Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Architettura, autori: Prof. Arch. Michele Paradiso e Prof. Arch. Giacomo Tempesta, e si fonda sugli studi di Heyman, in accordo con i più avanzati studi del settore e supportata da indagini sperimentali condotte in ambito universitario. Una descrizione dettagliata è riportata nella documentazione associata al software SAV e nel volume 'Sistemi Voltati in Muratura' (DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 2007); qui di seguito enunciamo i concetti fondamentali, riferiti all'arco in sola muratura (non rinforzato).

Si considera un arco incastrato, costituito da 'n' conci e da 'm' = 'n+1' interfacce, su ciascuna delle quali agiscono le azioni interne N (sforzo normale), M (momento flettente) e T (taglio), per effetto del sistema di carichi applicati (peso proprio, altre azioni esterne). L'arco viene discretizzato, numerando i conci e le interfacce progressivamente da sinistra a destra. I conci costituiscono gli 'elementi finiti' del modello; l'interfaccia consente la trasmissione degli sforzi da un concio a quello adiacente. Si può fare riferimento ai conci reali, separati da interfacce costituite dai giunti di malta; ma più in generale facciamo riferimento ad una suddivisione matematica dell'arco non necessariamente coincidente con i conci reali (i metodi numerici garantiranno comunque la validità del calcolo): questo permette di usare un numero di elementi finiti non eccessivo anche per archi di grandi dimensioni.

Il problema statico è retto dalla seguente formulazione:

$$(1) \quad AN + BM + CT = F$$

(dove A, B, C sono le matrici di configurazione geometrica relative rispettivamente ai vettori incogniti N, M e T, e F il vettore dei carichi assegnati)

sotto le condizioni:

$$(2) \quad N_i \leq 0$$

e

$$(3) \quad N_i h_i - M_i \geq 0$$

$$N_i h_i + M_i \geq 0$$

dove $2h_i$ è l'altezza del concio i-esimo.

Le incognite sono le $3m = 3(n+1) = 3n+3$ caratteristiche di sollecitazione agenti nelle interfacce, mentre le equazioni (1) sono pari al numero dei conci: $3n$.

Il sistema lineare (1) presenta quindi un numero di equazioni insufficienti: c'è un ovvio, dato il grado di indeterminazione del problema, pari a 3 incognite iperstatiche.

Le disequazioni (2) traducono la circostanza che l'interfaccia può trasmettere solo forza normale di compressione, mentre le (3) traducono il fatto che il poligono funicolare deve essere contenuto entro la sagoma dell'arco.

Le infinite soluzioni del sistema (1) possono quindi essere ridotte dalle condizioni (2) e (3).

Può anche accadere che non esista una soluzione che soddisfi contemporaneamente le equazioni e le disequazioni: in tal caso, la struttura non può essere in equilibrio sotto l'assegnata condizione di carico, ossia non esiste un poligono funicolare interno alla sagoma dell'arco in equilibrio con i carichi esterni: l'arco è instabile.

Per la soluzione del problema, viene utilizzata la tecnica della 'matrice inversa generalizzata'.

Prima di illustrare il procedimento numerico, si reimposta il problema in maniera più vantaggiosa, ridefinendo il vincolo di connessione fra le facce di due conci generici attraverso tre bielle delle quali una tangente e le altre due con direzione ortogonale all'interfaccia rispettivamente nei punti di intradosso e di estradosso.

In tal modo, l'arco risulta costituito da blocchi rigidi connessi da tre bielle ideali unilateri, cioè in grado di trasmettere solo sforzi di compressione, a comportamento rigido-fessurante.

Indicando con:

X_{1i} = sforzo nell'interfaccia 'i' nella biella di estradosso;

X_{2i} = sforzo nella biella di intradosso;

X_{3i} = sforzo nella biella tangente,

ed isolando il concio i-esimo, le tre equazioni di equilibrio del concio i-esimo (interessato dalle interfacce i e i+1) divengono:

$$(4) \quad \begin{aligned} X_{1,i} \cos \alpha + X_{2,i} \cos \alpha + X_{3,i} \sin \alpha - X_{1,i+1} \cos \alpha - X_{2,i+1} \cos \alpha - X_{3,i+1} \sin \alpha + F_{1,i} &= 0 \\ X_{1,i} \sin \alpha + X_{2,i} \sin \alpha - X_{3,i} \cos \alpha - X_{1,i+1} \sin \alpha - X_{2,i+1} \sin \alpha + X_{3,i+1} \cos \alpha + F_{2,i} &= 0 \\ -X_{1,i} d_{1,i} + X_{2,i} d_{2,i} + X_{3,i} d_{3,i} + X_{1,i+1} d_{1,i+1} - X_{2,i+1} d_{2,i+1} + X_{3,i+1} d_{3,i+1} + F_{3,i} &= 0 \end{aligned}$$

dove:

X_i = azioni interne incognite (sforzi nelle bielle), pari a $3m$ (3 bielle per ognuna delle 'm' interfacce);

per quanto riguarda la convenzione sui segni: per le bielle normali $X > 0$ se di compressione; per la biella tangente $X > 0$ se corrisponde ad un abbassamento del semiarco di sinistra rispetto a quello di destra (convenzione opposta a quanto usualmente adottato per lo sforzo di taglio);

F_{1i}, F_{2i}, F_{3i} = carichi esterni agenti sul concio (termini noti);

$d_{j,i}$ = distanza della direzione j (asse della biella) dal baricentro G_i del concio.

Il sistema lineare (4) può essere riscritto nella forma:

$$(5) \quad AX + F = 0$$

dove:

$$(6) \quad A = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \cos \alpha & \sin \alpha & -\cos \alpha & -\cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \sin \alpha & -\cos \alpha & -\sin \alpha & -\sin \alpha & \cos \alpha \\ -d_{1,i} & d_{2,i} & d_{3,i} & d_{1,i+1} & -d_{2,i+1} & d_{3,i+1} \end{bmatrix} \quad \square \quad R^{3 \times 6}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_{1,i} \\ X_{2,i} \\ X_{3,i} \\ X_{1,i+1} \\ X_{2,i+1} \\ X_{3,i+1} \end{bmatrix} \quad \square \quad R^{6 \times 1} (R^6)$$

$$F = \begin{bmatrix} F_{1,i} \\ F_{2,i} \\ F_{3,i} \end{bmatrix} \square R^{3 \times 1} (R^3)$$

essendo:

A = matrice di assetto (o di configurazione geometrica, detta anche: matrice di equilibrio);

X = vettore incognito degli sforzi nelle bielle;

F = vettore dei termini noti (carichi assegnati);

$R^{n \times m}$ = l'insieme delle matrici reali aventi n righe e m colonne.

Le espressioni matriciali (6) si riferiscono al concio i-esimo. Il sistema completo della struttura globale (l'arco costituito da tutti i conci) viene costruito per assemblaggio dei singoli conci, cioè dei gruppi di 3 equazioni.

Eseguito l'assemblaggio, risulta: $A \square R^{3n \times 3m}$, $X \square R^{3m \times 1} (R^{3m})$, $F \square R^{3n \times 1} (R^{3n})$.

La (5) può anche essere scritta nella forma:

$$(7) \quad AX = F$$

adottando per i termini noti la convenzione sui segni opposta (in modo, dunque, che il carico verticale $F_{2,i}$ sia positivo se rivolto verso il basso, come ad esempio il peso proprio).

Poniamo, per semplicità:

$$3n \square n$$

$$3m \square m$$

e quindi:

$$A \square R^{n \times m}, X \square R^m, F \square R^n$$

Il sistema lineare è perciò 'rettangolare', cioè costituito da 'n' equazioni in 'm' incognite con $n \square m$, e più precisamente: $n < m$ (per l'esattezza: $n = m-3$).

Il rango di A vale 'n', cioè le righe del sistema sono linearmente indipendenti tra loro ($\det A \square 0$).

Se i vincoli fossero tutti bilateri, cioè le bielle 1 e 2 (fig. 16) fossero in grado di trasmettere sforzi di trazione e di compressione, il sistema presenterebbe $\square^{m-n} (= \square^3)$ soluzioni tutte equilibrate (azioni interne in equilibrio con i carichi esterni).

Ma l'unilateralità dei vincoli (le bielle 1 e 2 possono reagire solo a compressione) impone la ricerca dell'insieme di soluzioni che soddisfano le equazioni di equilibrio (7) nel rispetto delle condizioni di segno:

$$(8) \quad X_{1,i} \geq 0, X_{2,i} \geq 0$$

Nel procedimento numerico, si ricerca anzitutto (utilizzando il metodo dell'inversa generalizzata) l'espressione generale delle

\square^{m-n} soluzioni del sistema rettangolare avente un numero di equazioni inferiore al numero delle incognite; in seguito, vengono introdotte le condizioni di segno per identificare le soluzioni realmente accettabili (cioi aventi significato fisico) per il problema in esame.

L'espressione generale detta ha la forma:

$$(9) \quad X = X_0 + C M, \quad \forall M \square R^m$$

dove la matrice C è definita da:

$$(10) \quad C = I - A^T (A A^T)^{-1} A, \quad C \square R^{m \times m}$$

essendo I la matrice identità di ordine m

Nella (9) è presente l'arbitrarietà del vettore M. Dato che il sistema rettangolare (7) corrispondente al problema fisico esaminato presenta condizioni di segno, l'arbitrarietà di M può essere utilizzata per soddisfare le disequazioni (8). Il vettore M viene definito attraverso un procedimento iterativo, il cui scopo, ad ogni passo, è quello di annullare una componente di trazione, inaccettabile nella muratura.

È quindi consentito un numero di passi preciso: essi al massimo possono essere 4 (passo iniziale + 3 iterazioni). Al passo 4, infatti, le componenti compensate sono 3, e corrispondono all'annullamento di tre sforzi normali in tre bielle.

Poiché l'annullamento dello sforzo in una biella corrisponde alla formazione di una cerniera all'intradosso o all'estradosso (a seconda, rispettivamente, che si tratti di $X_{2,i}$ o $X_{1,i}$), il numero delle cerniere non può essere maggiore di 3 perché l'arco si trasformerebbe in una struttura labile.

Generalizzando il metodo alla soluzione di strutture generiche a vincoli unilaterali, ciò significa che il numero delle iterazioni non può superare il grado di iperstaticità della struttura.

Se il procedimento è convergente, ossia ha termine all'iterazione k ($1 \leq k \leq 3$), la curva delle pressioni (ottenuta attraverso il vettore soluzione degli sforzi nelle bielle) sarà tangente, in k interfacce, all'intradosso o all'estradosso, denunciando la formazione di k cerniere e le componenti X_1 e X_2 del vettore soluzione X saranno tutte ≥ 0 .

Se invece il procedimento non converge, ossia, eseguita la terza iterazione, continua a manifestarsi almeno un valore negativo tra gli sforzi nelle bielle, l'arco è instabile: non esiste quindi alcun poligono funicolare compatibile con i carichi applicati e con la sagoma dell'arco.

Per quanto riguarda l'arco rinforzato, occorre distinguere i casi di rinforzi di superficie (cappa in cls armato o fasce in FRP) da quelli di rinforzi localizzati (catene).

Nel caso dei rinforzi localizzati, la metodologia illustrata è invariata: oltre alle bielle che schematizzano le interfacce dei conci, vengono considerate tante bielle aggiuntive quante sono le catene, ognuna delle quali è unilatera a trazione, cioè non reagisce a compressione.

Nel caso dei rinforzi di superficie, SAV introduce una variante nella metodologia illustrata, consistente nella bilateralità della biella posta dalla parte del rinforzo (intradosso o estradosso), per la quale quindi diviene accettabile lo sforzo di trazione; il procedimento numerico può in tal caso eseguire tanti passi quanti sono necessari per assicurare la compressione nella muratura, dal momento che l'esistenza del rinforzo a trazione impedisce teoricamente la formazione delle cerniere di apertura.

In ogni caso, l'applicazione della metodologia di calcolo illustrata fornisce sia una risposta immediata sulla stabilità dell'arco, evidenziandone la posizione della curva delle pressioni, sia il campo di azioni interne: esse possono essere utilizzate per ulteriori verifiche strutturali.

RISULTATI ANALISI

ARCO n. 1 - Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta

Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta**- Sforzi nelle Interfacce dei Conci**

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
	(kgf)	(kgf)	(cm)	(cm)	(°)	(kgf/cm ²)	(cm)		
1	2028	1624	575	3697	15.0	1.5	9.0	0.00	0
2	1994	1651	563	3689	14.8	1.3	8.8	0.00	0
3	1680	1902	427	3607	12.7	-0.8	6.8	0.00	0
4	1441	2076	297	3530	11.1	-2.4	4.8	0.00	0
5	1253	2181	187	3439	9.9	-3.6	3.1	0.00	0
6	1113	2227	92	3341	9.0	-4.5	1.6	0.00	0
7	1020	2224	8	3244	8.5	-5.0	0.1	0.00	0
8	969	2176	-63	3146	8.3	-5.2	1.2	0.00	0
9	955	2092	-124	3050	8.5	-5.0	2.3	0.00	0
10	972	1978	-172	2955	8.9	-4.6	3.3	0.00	0
11	1014	1841	-210	2863	9.6	-3.9	4.2	0.00	0
12	1076	1686	-237	2772	10.5	-3.0	4.9	0.00	0
13	1153	1521	-254	2686	11.6	-1.9	5.4	0.00	0
14	1240	1350	-261	2603	12.9	-0.6	5.8	0.00	0
15	1332	1180	-259	2525	14.3	0.8	5.9	0.00	0
16	1425	1015	-249	2453	15.8	2.3	5.8	0.00	0
17	1515	861	-231	2387	17.2	3.7	5.6	0.00	0
18	1599	721	-207	2329	18.6	5.1	5.1	0.00	0
19	1674	599	-177	2279	19.9	6.4	4.4	0.00	0
20	1736	497	-142	2238	21.0	7.5	3.6	0.00	0
21	1785	419	-104	2207	21.9	8.4	2.7	0.00	0
22	1818	367	-63	2186	22.5	9.0	1.6	0.00	0
23	1835	341	-20	2175	22.8	9.3	0.5	0.00	0
24	1834	342	23	2176	22.8	9.3	0.6	0.00	0
25	1816	370	65	2187	22.4	8.9	1.7	0.00	0
26	1782	424	106	2209	21.8	8.3	2.8	0.00	0
27	1733	504	144	2241	20.9	7.4	3.7	0.00	0
28	1670	606	179	2283	19.8	6.3	4.5	0.00	0
29	1595	730	208	2334	18.5	5.0	5.1	0.00	0
30	1511	871	232	2393	17.1	3.6	5.6	0.00	0
31	1421	1026	249	2459	15.7	2.2	5.8	0.00	0
32	1328	1190	258	2532	14.2	0.7	5.9	0.00	0
33	1237	1360	260	2610	12.9	-0.6	5.7	0.00	0
34	1152	1530	252	2693	11.6	-1.9	5.4	0.00	0
35	1077	1694	234	2780	10.5	-3.0	4.8	0.00	0
36	1017	1846	206	2870	9.6	-3.9	4.1	0.00	0
37	977	1981	167	2963	8.9	-4.6	3.2	0.00	0
38	963	2092	118	3058	8.5	-5.0	2.2	0.00	0
39	981	2173	56	3155	8.4	-5.1	1.0	0.00	0
40	1036	2216	-16	3252	8.6	-4.9	0.3	0.00	0
41	1133	2215	-101	3349	9.1	-4.4	1.7	0.00	0
42	1279	2163	-197	3447	10.0	-3.5	3.3	0.00	0
43	1471	2052	-310	3536	11.3	-2.2	5.0	0.00	0
44	1716	1870	-440	3613	12.9	-0.6	7.0	0.00	0
45	2039	1612	-576	3696	15.1	1.6	9.0	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta	Spinta	Car.Vert.	Inclinazione
(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)	
Sinistra	2174	2990	54.0
Destra	2174	2989	54.0

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²) = 19.00/1.2 = 15.83]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cm ²]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cm ²]
RENI	3155	1,17	15,83

CHIAVE	2453	0,90	15,83
--------	------	------	-------

Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): ≥ 100.00

- Attrito (Taglio nei giunti): ≥ 100.00

- Trazione dei rinforzi: ≥ 100.00

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): 41.17

Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): 41.17

Volta (insieme degli archi)

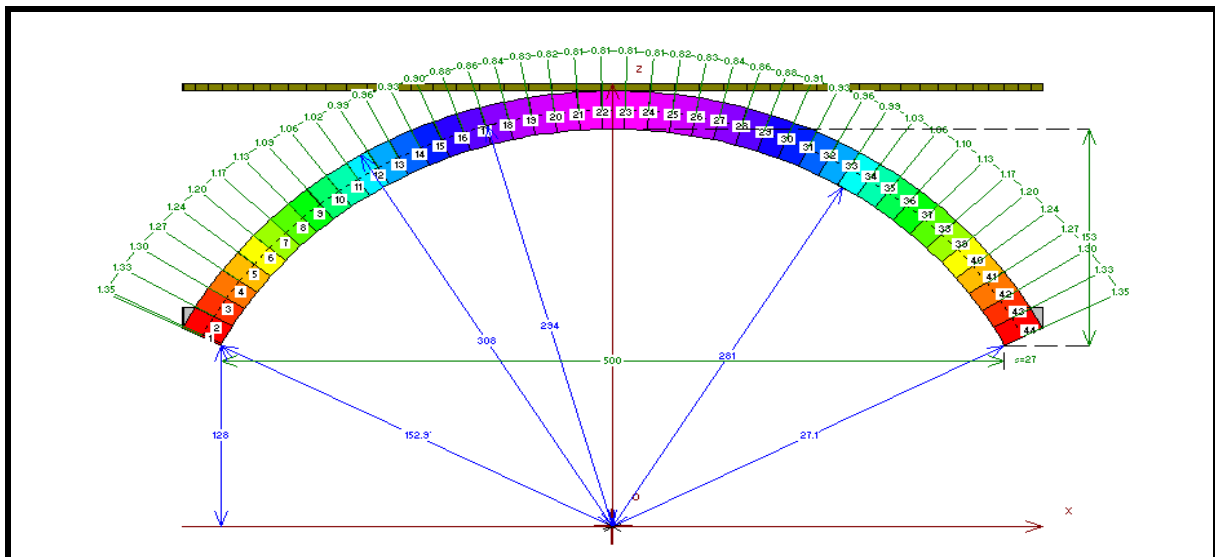
Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Minimo fra tutti gli archi: 41.17

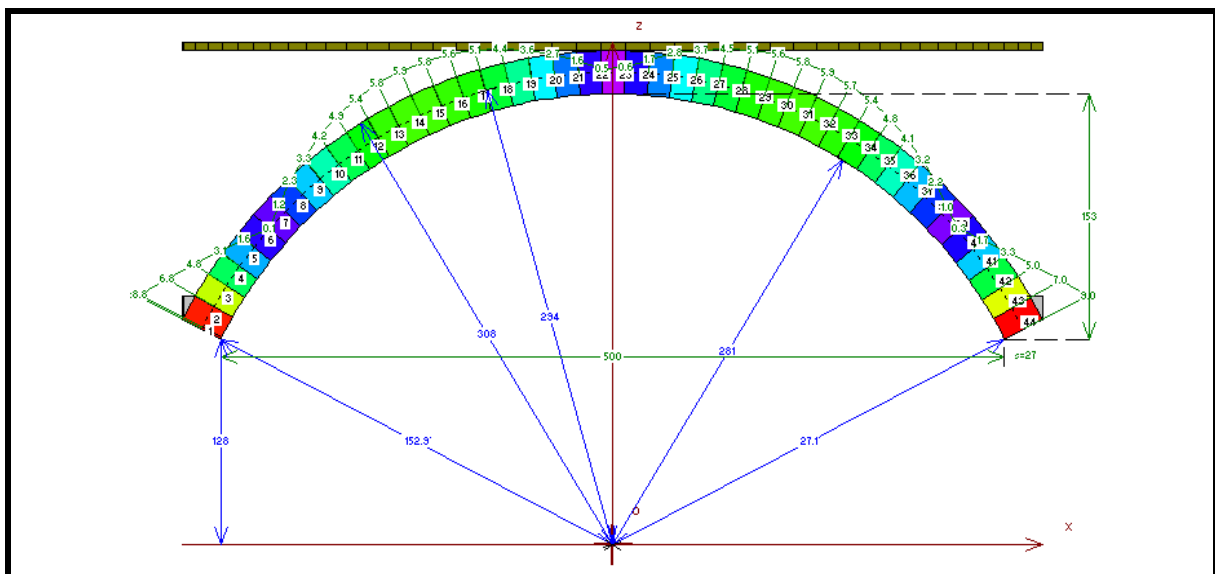
Moltiplicatore di collasso della Volta in direzione verticale

(= Minimo assoluto fra tutti gli archi in tutte le CCC): 41.17

SOLLECITAZIONI MASSIME DI COMPRESSIONE



ANGOLI DI SCORRIMENTO

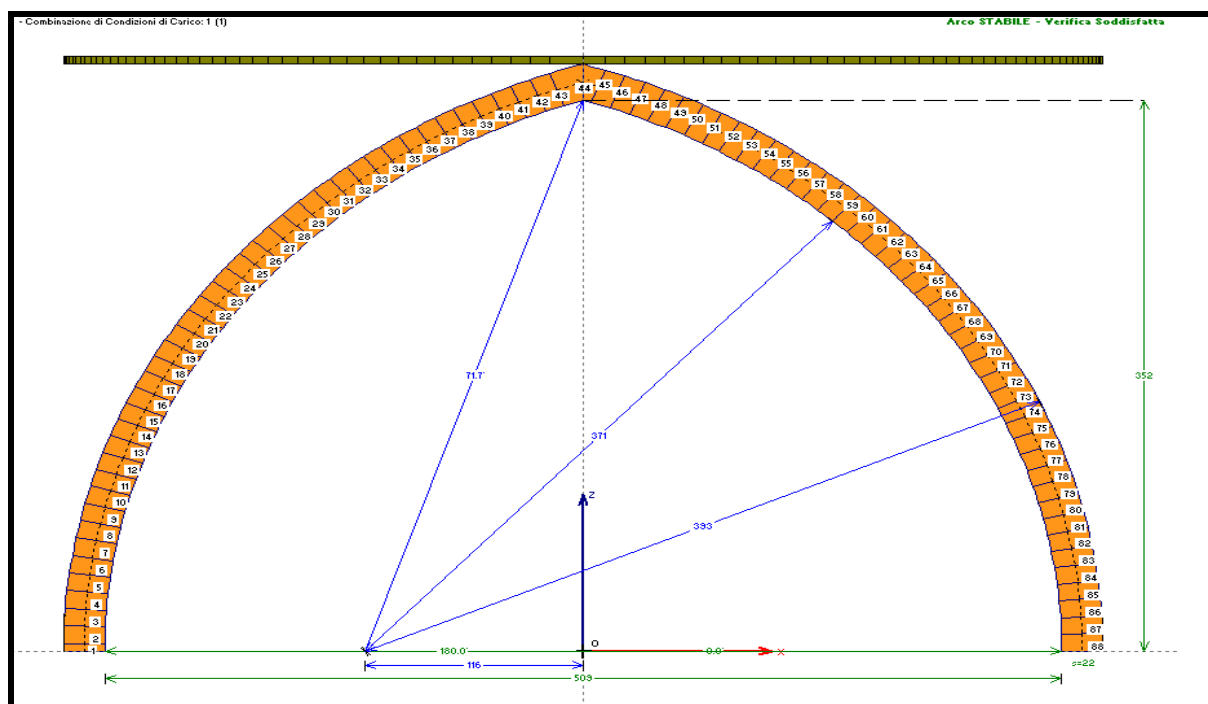


2.7.2 Verifica VOLTA TIPO 2 TIPO 5

La VOLTA TIPO 2 e TIPO 5 hanno stessa geometria e sono state indicate negli elaborati grafici di progetto. La volta è stata analizzata modellando due archi di profondità unitaria ($L=1m$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in laterizio) = 1100 kg/m^3
- Controvolta in PVA ($s = 2 \text{ cm}$) = 1900 kg/m^3
- Carico permanente intonaco di cocciopesto = 90 kg/m^2
- Carico accidentale = 200 kg/m^2
- Carico neve = 48 kg/m^2

NUMERAZIONE DEI CONCI ARCO SEZ. A-A



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco
 Geometria della curva: arco Circolare a sesto acuto ($s=\text{cost.}$)
 con rinforzo in estradosso
 [Nome del file (archivio del software SAV): 1136_- _Volta_2_- _Sez_A-A]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100
 N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	L_y	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:
 Freccia.....(cm) = 352
 Corda.....(cm) = 509

Angolo imposta $a^{\circ}sx....(^{\circ}) = 180.0$
 $a^{\circ}dx....(^{\circ}) = 0.0$
 Spessore.....(cm) = 22
 >>> Altri parametri:
 Altezza imposta H,i,sx (cm) = 0
 H,i,dx (cm) = 0
 Raggio Intradosso $R,i..$ (cm) = 371
 Raggio Estradosso $R,e..$ (cm) = 393
 Angolo in chiave $\phi i....(^{\circ}) = 71.7$

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:
 Altezza.....(cm) = 515
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 126
 Lx Inf (base).....(cm) = 126
 Ly (cm) = 100
 Dist. int./intrad. $dX..$ (cm) = 0

> Piedritto Destro:
 Altezza.....(cm) = 515
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 102
 Lx Inf (base).....(cm) = 102
 Ly (cm) = 100
 Dist. int./intrad. $dX..$ (cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
 Dist.da linea di chiave(cm) = 352
 Peso specifico....(kgf/m³) = 900
 > Sottofondo:
 Spessore.....(cm) = 5
 Peso specifico....(kgf/m³) = 1800

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 9-LC 2) Muratura in blocchi laterizi
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 10
 Resistenza a Compressione di progetto: $f,d = (1/1.20) f,m$
 Peso Specifico.....(kgf/m³) = 1200
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(^{\circ}) = 35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 19
 Resistenza a Compressione di progetto: $f,d = (1/1.20) f,m$
 Peso Specifico.....(kgf/m³) = 1600
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(^{\circ}) = 35.0 [f = 0.70]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) = 0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f,tk (kgf/cm²) = 1270
 Resistenza a Trazione di progetto: $f,td = (1/1) f,tk$

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI
 "Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI
 Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)
 -1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.3

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,510,100,-255,0,200,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Carico Neve

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",0

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,510,100,-255,0,48,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5,.75

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm**Baricentri (cm)**

N.	Xg	Yg
1	-265.6	2.4
2	-265.4	10.3
3	-265.0	21.3
4	-264.2	32.3
5	-263.1	43.3
6	-261.7	54.2
7	-260.0	65.0
8	-258.0	75.8
9	-255.6	86.6
10	-253.0	97.3
11	-250.0	107.9
12	-246.8	118.4
13	-243.2	128.8
14	-239.3	139.1
15	-235.2	149.3
16	-230.7	159.3
17	-226.0	169.3
18	-221.0	179.1
19	-215.7	188.7
20	-210.1	198.2
21	-204.3	207.5
22	-198.1	216.7
23	-191.8	225.6
24	-185.1	234.4
25	-178.3	243.0
26	-171.1	251.4
27	-163.8	259.6
28	-156.2	267.5
29	-148.4	275.3
30	-140.3	282.8
31	-132.1	290.0
32	-123.6	297.1
33	-114.9	303.9
34	-106.1	310.4
35	-97.0	316.7
36	-87.8	322.7
37	-78.4	328.4
38	-68.9	333.9
39	-59.2	339.1
40	-49.4	344.0
41	-39.4	348.6
42	-29.3	353.0
43	-19.0	357.0
44	-7.1	362.2
45	4.3	363.9
46	13.2	359.2
47	23.5	355.3
48	33.7	351.1
49	43.8	346.6
50	53.7	341.9
51	63.5	336.8
52	73.1	331.5
53	82.6	325.9
54	91.9	320.1
55	101.0	313.9
56	110.0	307.6
57	118.8	300.9
58	127.3	294.0
59	135.7	286.9
60	143.9	279.5
61	151.8	271.9
62	159.5	264.0
63	167.0	256.0
64	174.3	247.7
65	181.3	239.3
66	188.1	230.6
67	194.6	221.7
68	200.9	212.7
69	206.9	203.4
70	212.6	194.0

71	218.0	184.5
72	223.2	174.8
73	228.1	164.9
74	232.7	154.9
75	237.0	144.8
76	241.1	134.6
77	244.8	124.2
78	248.2	113.8
79	251.4	103.2
80	254.2	92.6
81	256.7	81.9
82	258.9	71.1
83	260.8	60.3
84	262.4	49.4
85	263.6	38.4
86	264.6	27.5
87	265.2	16.5
88	265.5	5.5

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
		rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	13	0	-10.9										
2	29	0	-10.9										
3	29	0	-11.1										
4	29												
5	29												
6	29												
7	29												
8	29												
9	29												
10	29												
11	29												
12	29												
13	29												
14	29												
15	29												
16	29												
17	29												
18	29												
19	29												
20	29												
21	29												
22	29												
23	29												
24	29												
25	29												
26	29												
27	29												
28	29												
29	29												
30	29												
31	29												
32	29												
33	29												
34	29												
35	29												
36	29												
37	29												
38	29												
39	29												
40	29												
41	29												
42	29												
43	29												
44	39												
45	22												
46	29												
47	29												
48	29												
49	29												
50	29												
51	29												
52	29												

53	29												
54	29												
55	29												
56	29												
57	29												
58	29												
59	29												
60	29												
61	29												
62	29												
63	29												
64	29												
65	29												
66	29												
67	29												
68	29												
69	29												
70	29												
71	29												
72	29												
73	29												
74	29												
75	29												
76	29												
77	29												
78	29												
79	29												
80	29												
81	29												
82	29												
83	29												
84	29												
85	29												
86	29	0	11.1										
87	29	0	10.9										
88	29	0	10.9										

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1			0	-10.9									
2			0	-10.9									
3			1	-10.9									
4			1	-10.8									
5			1	-10.8									
6			1	-10.8									
7			2	-10.7									
8			2	-10.7									
9			2	-10.6									
10			3	-10.5									
11			3	-10.4									
12			3	-10.3									
13			3	-10.2									
14			4	-10.1									
15			4	-10.0									
16			4	-9.9									
17			5	-9.7									
18			5	-9.6									
19			5	-9.5									
20			5	-9.3									
21			6	-9.1									
22			6	-9.0									
23			6	-8.8									
24			6	-8.6									
25			6	-8.4									
26			7	-8.2									
27			7	-8.0									
28			7	-7.8									
29			7	-7.5									
30			8	-7.3									
31			8	-7.1									
32			8	-6.8									
33			8	-6.6									
34			8	-6.3									

35				8	-6.1								
36				9	-5.8								
37				9	-5.5								
38				9	-5.3								
39				9	-5.0								
40				9	-4.7								
41				9	-4.4								
42				9	-4.1								
43				10	-3.9								
44				16	-1.7								
45				10	1.5								
46				10	3.7								
47				9	4.0								
48				9	4.3								
49				9	4.6								
50				9	4.8								
51				9	5.1								
52				9	5.4								
53				9	5.7								
54				9	5.9								
55				8	6.2								
56				8	6.4								
57				8	6.7								
58				8	6.9								
59				8	7.2								
60				7	7.4								
61				7	7.6								
62				7	7.9								
63				7	8.1								
64				7	8.3								
65				6	8.5								
66				6	8.7								
67				6	8.9								
68				6	9.0								
69				5	9.2								
70				5	9.4								
71				5	9.5								
72				5	9.7								
73				4	9.8								
74				4	9.9								
75				4	10.1								
76				4	10.2								
77				3	10.3								
78				3	10.4								
79				3	10.5								
80				2	10.5								
81				2	10.6								
82				2	10.7								
83				2	10.7								
84				1	10.8								
85				1	10.8								
86				1	10.8								
87				0	10.9								
88				0	10.9								

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
11							2	-9.4					
12							6	-10.3					
13							7	-10.2					
14							7	-10.1					
15							8	-10.0					
16							8	-9.9					
17							9	-9.7					
18							9	-9.6					
19							10	-9.5					
20							10	-9.3					
21							11	-9.1					
22							11	-9.0					
23							12	-8.8					
24							12	-8.6					
25							13	-8.4					
26							13	-8.2					

27							14	-8.0				
28							14	-7.8				
29							15	-7.5				
30							15	-7.3				
31							15	-7.1				
32							16	-6.8				
33							16	-6.6				
34							16	-6.3				
35							17	-6.1				
36							17	-5.8				
37							17	-5.5				
38							18	-5.3				
39							18	-5.0				
40							18	-4.7				
41							18	-4.4				
42							19	-4.1				
43							19	-3.9				
44							31	-1.7				
45							21	1.5				
46							19	3.7				
47							19	4.0				
48							19	4.3				
49							18	4.6				
50							18	4.8				
51							18	5.1				
52							18	5.4				
53							17	5.7				
54							17	5.9				
55							17	6.2				
56							16	6.4				
57							16	6.7				
58							16	6.9				
59							15	7.2				
60							15	7.4				
61							14	7.6				
62							14	7.9				
63							14	8.1				
64							13	8.3				
65							13	8.5				
66							12	8.7				
67							12	8.9				
68							11	9.0				
69							11	9.2				
70							10	9.4				
71							10	9.5				
72							9	9.7				
73							9	9.8				
74							8	9.9				
75							8	10.1				
76							7	10.2				
77							7	10.3				
78							5	10.2				

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 4

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	conc
11							0	-9.4					
12							2	-10.3					
13							2	-10.2					
14							2	-10.1					
15							2	-10.0					
16							2	-9.9					
17							2	-9.7					
18							2	-9.6					
19							2	-9.5					
20							3	-9.3					
21							3	-9.1					
22							3	-9.0					
23							3	-8.8					
24							3	-8.6					
25							3	-8.4					
26							3	-8.2					
27							3	-8.0					

28								3	-7.8				
29								3	-7.5				
30								4	-7.3				
31								4	-7.1				
32								4	-6.8				
33								4	-6.6				
34								4	-6.3				
35								4	-6.1				
36								4	-5.8				
37								4	-5.5				
38								4	-5.3				
39								4	-5.0				
40								4	-4.7				
41								4	-4.4				
42								4	-4.1				
43								5	-3.9				
44								8	-1.7				
45								5	1.5				
46								5	3.7				
47								5	4.0				
48								4	4.3				
49								4	4.6				
50								4	4.8				
51								4	5.1				
52								4	5.4				
53								4	5.7				
54								4	5.9				
55								4	6.2				
56								4	6.4				
57								4	6.7				
58								4	6.9				
59								4	7.2				
60								4	7.4				
61								3	7.6				
62								3	7.9				
63								3	8.1				
64								3	8.3				
65								3	8.5				
66								3	8.7				
67								3	8.9				
68								3	9.0				
69								3	9.2				
70								2	9.4				
71								2	9.5				
72								2	9.7				
73								2	9.8				
74								2	9.9				
75								2	10.1				
76								2	10.2				
77								2	10.3				
78								1	10.2				

RISULTATI ANALISI

ARCO n. 1

- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta

Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta

- Sforzi nelle Interfacce dei Conci

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
		(kgf)		(cm)	(°)	(kgf/cm^2)	(cm)		
1	3374	0	1149	3564	22.0	11.0	18.8	0.00	0
2	3125	247	1107	3548	20.4	9.4	18.2	0.00	0
3	2591	773	1011	3512	16.9	5.9	16.7	0.00	0
4	2103	1249	916	3475	13.8	2.8	15.3	0.00	0

5	1661	1678	823	3438	10.9	-0.1	13.8	0.00	0
6	1263	2059	731	3401	8.4	-2.6	12.4	0.00	0
7	908	2394	642	3364	6.1	-4.9	11.0	0.00	0
8	597	2683	554	3326	4.0	-7.0	9.6	0.00	0
9	327	2927	468	3288	2.2	-8.8	8.2	0.00	0
10	99	3127	383	3249	0.7	-10.3	6.8	0.00	0
11	-90	3285	302	3210	-0.6	-11.6	5.4	1270.00	15
12	-245	3402	224	3165	-1.7	-12.7	4.0	1270.00	41
13	-376	3481	152	3109	-2.7	-13.7	2.8	1270.00	53
14	-474	3524	85	3051	-3.4	-14.4	1.6	1270.00	69
15	-543	3533	21	2991	-4.0	-15.0	0.4	1270.00	71
16	-582	3512	-38	2929	-4.4	-15.4	0.7	1270.00	75
17	-596	3461	-93	2866	-4.6	-15.6	1.9	1270.00	75
18	-585	3383	-143	2802	-4.6	-15.6	2.9	1270.00	75
19	-551	3281	-189	2736	-4.4	-15.4	4.0	1270.00	75
20	-498	3156	-230	2669	-4.1	-15.1	4.9	1270.00	75
21	-426	3013	-266	2600	-3.6	-14.6	5.9	1270.00	71
22	-339	2852	-297	2531	-3.0	-14.0	6.7	1270.00	57
23	-238	2677	-323	2460	-2.1	-13.1	7.6	1270.00	40
24	-126	2490	-344	2388	-1.2	-12.2	8.3	1270.00	21
25	-6	2293	-360	2316	-0.1	-11.1	9.0	252.97	5
26	121	2091	-371	2242	1.2	-9.8	9.5	0.00	0
27	252	1884	-377	2169	2.6	-8.4	10.0	0.00	0
28	384	1676	-378	2095	4.1	-6.9	10.4	0.00	0
29	516	1469	-373	2020	5.7	-5.3	10.6	0.00	0
30	645	1267	-364	1946	7.4	-3.6	10.8	0.00	0
31	769	1070	-349	1872	9.2	-1.8	10.7	0.00	0
32	885	884	-330	1799	11.0	0.0	10.6	0.00	0
33	991	708	-306	1727	12.8	1.8	10.2	0.00	0
34	1086	547	-277	1656	14.6	3.6	9.6	0.00	0
35	1166	402	-243	1587	16.4	5.4	8.8	0.00	0
36	1230	276	-205	1520	18.0	7.0	7.8	0.00	0
37	1276	171	-163	1457	19.4	8.4	6.4	0.00	0
38	1302	89	-117	1397	20.6	9.6	4.8	0.00	0
39	1307	33	-67	1341	21.5	10.5	2.8	0.00	0
40	1287	4	-13	1291	21.9	10.9	0.6	0.00	0
41	1242	4	45	1247	21.9	10.9	2.1	0.00	0
42	1171	35	106	1210	21.4	10.4	5.0	0.00	0
43	1071	98	170	1181	20.2	9.2	8.3	0.00	0
44	941	196	236	1161	18.2	7.2	11.7	0.00	0
45	735	414	0	1149	14.8	3.2	0.0	0.00	0
46	855	266	-275	1154	16.8	5.8	13.8	0.00	0
47	1002	149	-207	1169	19.2	8.2	10.2	0.00	0
48	1118	66	-141	1193	20.8	9.8	6.8	0.00	0
49	1205	17	-79	1225	21.7	10.7	3.7	0.00	0
50	1265	0	-19	1265	22.0	11.0	0.9	0.00	0
51	1299	13	37	1312	21.8	10.8	1.6	0.00	0
52	1308	54	89	1365	21.1	10.1	3.7	0.00	0
53	1294	122	138	1422	20.1	9.1	5.6	0.00	0
54	1258	214	182	1484	18.8	7.8	7.1	0.00	0
55	1204	329	223	1549	17.3	6.3	8.3	0.00	0
56	1133	463	258	1617	15.6	4.6	9.2	0.00	0
57	1046	616	290	1687	13.8	2.8	9.9	0.00	0
58	946	784	317	1758	12.0	1.0	10.4	0.00	0
59	835	964	339	1831	10.2	-0.8	10.7	0.00	0
60	715	1156	356	1905	8.4	-2.6	10.8	0.00	0
61	589	1355	368	1979	6.7	-4.3	10.7	0.00	0
62	459	1560	376	2053	5.0	-6.0	10.5	0.00	0
63	326	1767	378	2127	3.4	-7.6	10.2	0.00	0
64	194	1975	375	2201	2.0	-9.0	9.8	0.00	0
65	65	2180	367	2275	0.6	-10.4	9.3	0.00	0
66	-60	2381	354	2348	-0.6	-11.6	8.7	1270.00	10
67	-177	2573	336	2420	-1.6	-12.6	8.0	1270.00	30
68	-284	2755	312	2491	-2.5	-13.5	7.2	1270.00	48
69	-379	2924	284	2561	-3.3	-14.3	6.4	1270.00	63
70	-460	3078	251	2631	-3.9	-14.9	5.5	1270.00	67
71	-523	3214	213	2699	-4.3	-15.3	4.5	1270.00	68
72	-568	3328	170	2765	-4.5	-15.5	3.5	1270.00	75
73	-592	3420	122	2830	-4.6	-15.6	2.5	1270.00	75
74	-593	3487	69	2894	-4.5	-15.5	1.4	1270.00	75
75	-568	3525	13	2957	-4.2	-15.2	0.2	1270.00	75
76	-516	3533	-48	3017	-3.8	-14.8	0.9	1270.00	68
77	-435	3509	-114	3076	-3.1	-14.1	2.1	1270.00	63
78	-322	3451	-183	3134	-2.3	-13.3	3.3	1270.00	54
79	-178	3356	-257	3188	-1.2	-12.2	4.6	1270.00	30
80	-12	3221	-337	3227	-0.1	-11.1	6.0	493.56	5
81	194	3045	-420	3266	1.3	-9.7	7.4	0.00	0

82	441	2825	-505	3304	3.0	-8.0	8.8	0.00	0
83	729	2561	-592	3343	4.9	-6.1	10.2	0.00	0
84	1059	2252	-681	3380	7.0	-4.0	11.6	0.00	0
85	1432	1897	-771	3418	9.5	-1.5	13.0	0.00	0
86	1849	1496	-864	3455	12.2	1.2	14.5	0.00	0
87	2312	1046	-957	3491	15.1	4.1	15.9	0.00	0
88	2820	548	-1053	3528	18.4	7.4	17.4	0.00	0
89	3374	0	-1149	3564	22.0	11.0	18.8	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta	Spinta	Car.Vert.	Inclinazione
(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)	
Sinistra	1149	3374	71.2
Destra	1149	3374	71.2

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**

[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²)= 10.00/1.2 = 8.33]

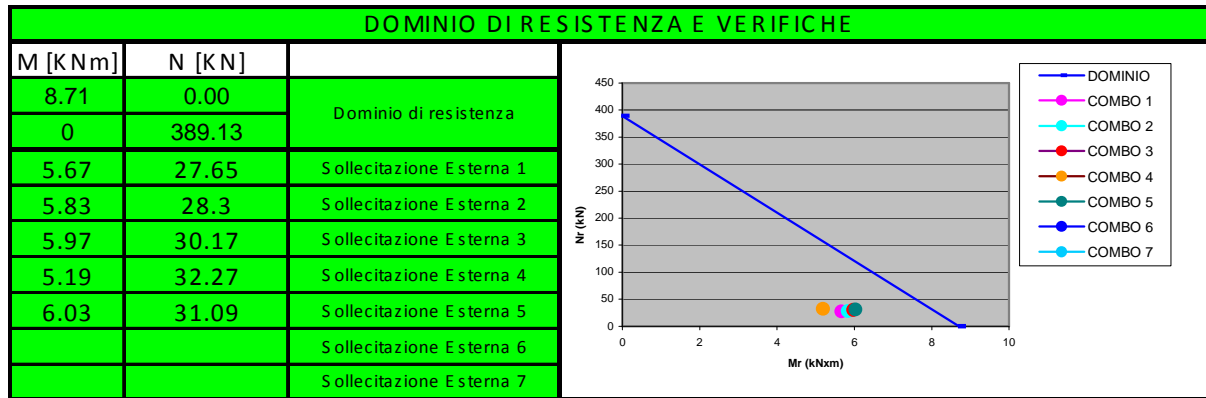
Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

Verifica in chiave

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cmq]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cmq]
CHIAVE	1265	1,40	10,33

Verifica alle reni

RINFORZO A PRESSO-FLESSIONE				
Caratteristiche dei materiali			Fibre	
			Tipo	
Fattore confidenza			$f_{f,uk}$	4800 MPa
			E_f	240000 MPa
			ε_{fk}	0.0180
Muratura			t_f	0.047 mm
Muratura			b_f	1000 mm
f_m	1	MPa	n° strati	1
τ	0.015	MPa	A_f	47.00 mm ²
E_{cm}	1000	MPa	γ_f	1.1
γ_m	2		$\gamma_{f,d}$	1.2
f_{mdk}	0.42		γ_{Rd}	1
f_{mdk}^h	0.21	MPa	η_a	0.95
f_{mtm}	0.10	MPa	η_1	0.8
Geometria della sezione				
b	=	1000 mm	Base della sezione	
h	=	220 mm	Altezza della sezione	



Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): 10.572

- Attrito (Taglio nei giunti): 10.570

- Trazione dei rinforzi: 1.733

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): 1.733

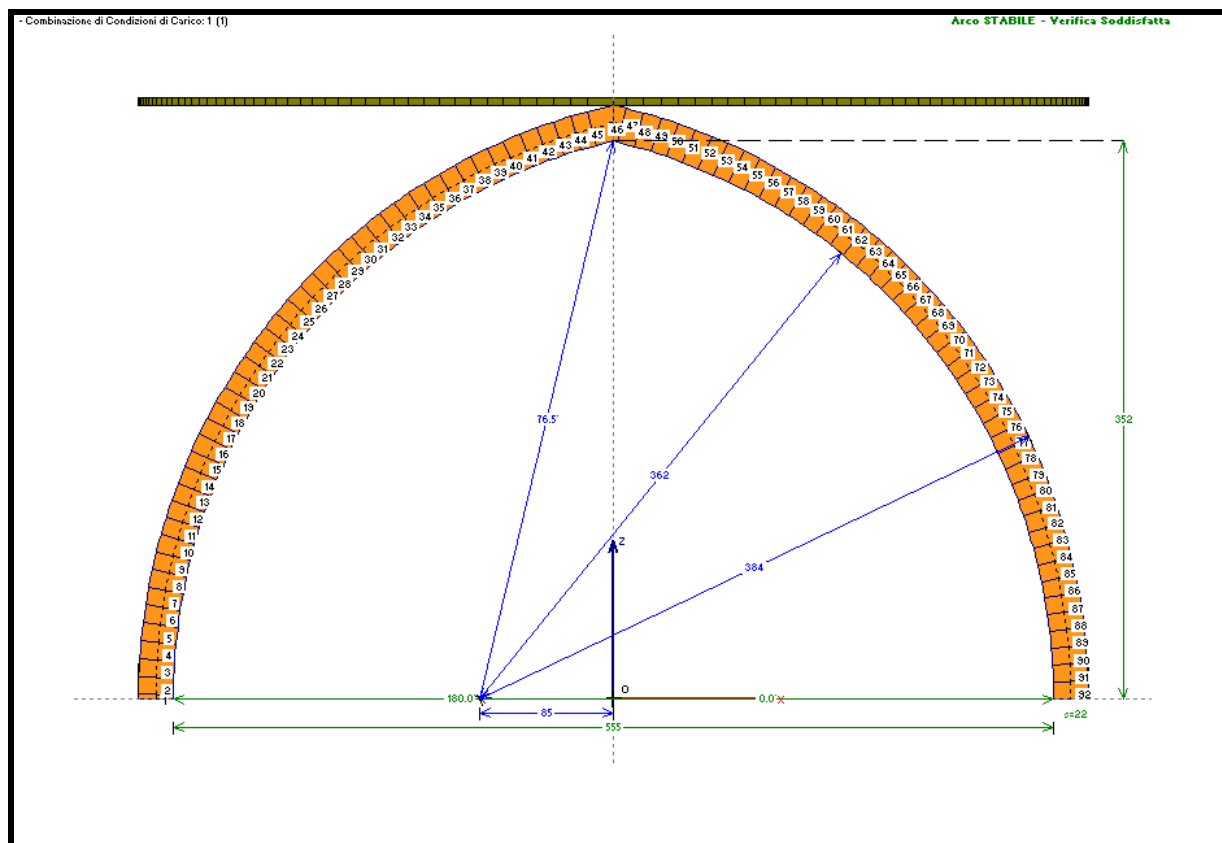
Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): 1.733

Riassumendo:

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale

(= Minimo assoluto fra tutte le CCC): **1.733**

NUMERAZIONE DEI CONCI ARCO SEZ. B-B



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco
 Geometria della curva: arco Circolare a sesto acuto (s=cost.)
 con rinforzo in estradosso
 [Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_2_-_Sez_B-B]

DATI STRUTTURA**- VOLTA**

Profondità.....(cm) = 100
 N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:
 Freccia.....(cm) = 352
 Corda.....(cm) = 555
 Angolo imposta a°,sx....(°) = 180.0
 a°,dx....(°) = 0.0
 Spessore.....(cm) = 22
 >>> Altri parametri:
 Altezza imposta H,i,sx (cm) = 0
 H,i,dx (cm) = 0
 Raggio Intradosso R,i..(cm) = 362
 Raggio Estradosso R,e..(cm) = 384
 Angolo in chiave phi....(°) = 76.5

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:
 Altezza.....(cm) = 515
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 126
 Lx Inf (base).....(cm) = 126
 Ly(cm) = 100
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:
 Altezza.....(cm) = 515
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 102
 Lx Inf (base).....(cm) = 102
 Ly(cm) = 100
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
 Dist.da linea di chiave(cm) = 352
 Peso specifico....(kgf/m³) = 900
 > Sottofondo:
 Spessore.....(cm) = 5
 Peso specifico....(kgf/m³) = 1800

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 9-LC 2) Muratura in blocchi laterizi
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 10
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) = 1200
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f_m (kgf/cm²) = 19
 Resistenza a Compressione di progetto: $f_d = (1/1.20) f_m$
 Peso Specifico.....(kgf/m³) = 1600
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [$f = 0.70$]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) = 0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f_{tk} (kgf/cm²) = 1270
 Resistenza a Trazione di progetto: $f_{td} = (1/1) f_{tk}$

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.3

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,556,100,-278,0,200,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Carico Neve

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",0

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,556,100,-278,0,48,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5,.75

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm

Baricentri (cm)

N.	Xg	Yg
1	-288.6	1.5
2	-288.5	8.5
3	-288.1	19.5
4	-287.3	30.5
5	-286.3	41.4
6	-284.9	52.4
7	-283.2	63.2
8	-281.2	74.0
9	-278.8	84.8
10	-276.2	95.5
11	-273.2	106.1
12	-269.9	116.6
13	-266.3	127.0
14	-262.4	137.2
15	-258.2	147.4
16	-253.7	157.5
17	-248.9	167.4
18	-243.9	177.1
19	-238.5	186.7
20	-232.8	196.2
21	-226.9	205.4
22	-220.7	214.5
23	-214.3	223.4
24	-207.6	232.2
25	-200.6	240.7
26	-193.4	249.0
27	-185.9	257.1
28	-178.2	264.9
29	-170.3	272.6
30	-162.1	279.9
31	-153.8	287.1
32	-145.2	294.0
33	-136.4	300.6
34	-127.5	307.0
35	-118.3	313.1
36	-109.0	319.0
37	-99.5	324.6
38	-89.9	329.8
39	-80.1	334.8
40	-70.1	339.5
41	-60.0	344.0
42	-49.8	348.1
43	-39.5	351.9
44	-29.1	355.4
45	-18.5	358.6
46	-6.7	362.5
47	3.0	364.4

48	10.8	360.7
49	21.4	357.7
50	31.9	354.5
51	42.3	350.9
52	52.6	347.0
53	62.8	342.8
54	72.8	338.3
55	82.8	333.5
56	92.5	328.4
57	102.1	323.1
58	111.6	317.4
59	120.8	311.5
60	129.9	305.3
61	138.8	298.8
62	147.6	292.1
63	156.1	285.2
64	164.4	277.9
65	172.5	270.5
66	180.3	262.8
67	188.0	254.9
68	195.4	246.7
69	202.5	238.4
70	209.4	229.8
71	216.1	221.0
72	222.5	212.1
73	228.6	202.9
74	234.4	193.6
75	240.0	184.1
76	245.3	174.5
77	250.3	164.7
78	255.0	154.7
79	259.4	144.6
80	263.5	134.4
81	267.3	124.1
82	270.8	113.7
83	274.0	103.2
84	276.9	92.5
85	279.5	81.9
86	281.8	71.1
87	283.7	60.3
88	285.3	49.4
89	286.6	38.4
90	287.6	27.5
91	288.2	16.5
92	288.5	5.5

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	8	0	-10.9										
2	29	0	-10.9										
3	29	0	-11.0										
4	29												
5	29												
6	29												
7	29												
8	29												
9	29												
10	29												
11	29												
12	29												
13	29												
14	29												
15	29												
16	29												
17	29												
18	29												
19	29												
20	29												
21	29												
22	29												
23	29												
24	29												
25	29												

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
		rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc
1				0	-10.9								
2				0	-10.9								
3				1	-10.9								

4			1	-10.8								
5			1	-10.8								
6			1	-10.8								
7			2	-10.7								
8			2	-10.7								
9			2	-10.6								
10			3	-10.5								
11			3	-10.4								
12			3	-10.3								
13			3	-10.2								
14			4	-10.1								
15			4	-10.0								
16			4	-9.9								
17			5	-9.7								
18			5	-9.6								
19			5	-9.4								
20			5	-9.2								
21			6	-9.1								
22			6	-8.9								
23			6	-8.7								
24			6	-8.5								
25			7	-8.3								
26			7	-8.1								
27			7	-7.9								
28			7	-7.7								
29			7	-7.4								
30			8	-7.2								
31			8	-6.9								
32			8	-6.7								
33			8	-6.4								
34			8	-6.2								
35			9	-5.9								
36			9	-5.6								
37			9	-5.4								
38			9	-5.1								
39			9	-4.8								
40			9	-4.5								
41			9	-4.2								
42			10	-3.9								
43			10	-3.6								
44			10	-3.3								
45			10	-3.0								
46			14	-1.3								
47			7	1.1								
48			10	2.8								
49			10	3.1								
50			10	3.4								
51			10	3.7								
52			9	4.0								
53			9	4.3								
54			9	4.6								
55			9	4.9								
56			9	5.2								
57			9	5.4								
58			9	5.7								
59			9	6.0								
60			8	6.2								
61			8	6.5								
62			8	6.8								
63			8	7.0								
64			8	7.3								
65			7	7.5								
66			7	7.7								
67			7	7.9								
68			7	8.2								
69			7	8.4								
70			6	8.6								
71			6	8.8								
72			6	8.9								
73			6	9.1								
74			5	9.3								
75			5	9.5								
76			5	9.6								
77			4	9.8								
78			4	9.9								
79			4	10.0								
80			4	10.1								

81			3	10.3								
82			3	10.4								
83			3	10.4								
84			3	10.5								
85			2	10.6								
86			2	10.7								
87			2	10.7								
88			1	10.8								
89			1	10.8								
90			1	10.8								
91			0	10.9								
92			0	10.9								

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
11							2	-9.3					
12							6	-10.3					
13							7	-10.2					
14							7	-10.1					
15							8	-10.0					
16							9	-9.9					
17							9	-9.7					
18							10	-9.6					
19							10	-9.4					
20							11	-9.2					
21							11	-9.1					
22							12	-8.9					
23							12	-8.7					
24							13	-8.5					
25							13	-8.3					
26							13	-8.1					
27							14	-7.9					
28							14	-7.7					
29							15	-7.4					
30							15	-7.2					
31							16	-6.9					
32							16	-6.7					
33							16	-6.4					
34							17	-6.2					
35							17	-5.9					
36							17	-5.6					
37							18	-5.4					
38							18	-5.1					
39							18	-4.8					
40							18	-4.5					
41							19	-4.2					
42							19	-3.9					
43							19	-3.6					
44							19	-3.3					
45							19	-3.0					
46							29	-1.3					
47							15	1.1					
48							20	2.8					
49							19	3.1					
50							19	3.4					
51							19	3.7					
52							19	4.0					
53							19	4.3					
54							18	4.6					
55							18	4.9					
56							18	5.2					
57							18	5.4					
58							17	5.7					
59							17	6.0					
60							17	6.2					
61							16	6.5					
62							16	6.8					
63							15	7.0					
64							15	7.3					
65							15	7.5					
66							14	7.7					
67							14	7.9					
68							13	8.2					

69								13	8.4				
70								12	8.6				
71								12	8.8				
72								11	8.9				
73								11	9.1				
74								10	9.3				
75								10	9.5				
76								9	9.6				
77								9	9.8				
78								8	9.9				
79								8	10.0				
80								7	10.1				
81								7	10.3				
82								6	10.4				
83								0	8.9				

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 4

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	conc
11							0	-9.3					
12							2	-10.3					
13							2	-10.2					
14							2	-10.1					
15							2	-10.0					
16							2	-9.9					
17							2	-9.7					
18							2	-9.6					
19							2	-9.4					
20							3	-9.2					
21							3	-9.1					
22							3	-8.9					
23							3	-8.7					
24							3	-8.5					
25							3	-8.3					
26							3	-8.1					
27							3	-7.9					
28							3	-7.7					
29							4	-7.4					
30							4	-7.2					
31							4	-6.9					
32							4	-6.7					
33							4	-6.4					
34							4	-6.2					
35							4	-5.9					
36							4	-5.6					
37							4	-5.4					
38							4	-5.1					
39							4	-4.8					
40							4	-4.5					
41							4	-4.2					
42							5	-3.9					
43							5	-3.6					
44							5	-3.3					
45							5	-3.0					
46							7	-1.3					
47							3	1.1					
48							5	2.8					
49							5	3.1					
50							5	3.4					
51							5	3.7					
52							5	4.0					
53							4	4.3					
54							4	4.6					
55							4	4.9					
56							4	5.2					
57							4	5.4					
58							4	5.7					
59							4	6.0					
60							4	6.2					
61							4	6.5					
62							4	6.8					
63							4	7.0					
64							4	7.3					
65							4	7.5					

66						3	7.7				
67						3	7.9				
68						3	8.2				
69						3	8.4				
70						3	8.6				
71						3	8.8				
72						3	8.9				
73						3	9.1				
74						3	9.3				
75						2	9.5				
76						2	9.6				
77						2	9.8				
78						2	9.9				
79						2	10.0				
80						2	10.1				
81						2	10.3				
82						1	10.4				
83						0	8.9				

RISULTATI ANALISI**ARCO n. 1****- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)****Verifica Soddisfatta****Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta****Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta**

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta**- Sforzi nelle Interfacce dei Conci**

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
	(kgf)	(kgf)	(cm)	(cm)	(°)	(kgf/cm ²)	(cm)		
1	3547	0	1304	3779	22.0	11.0	20.2	0.00	0
2	3370	177	1275	3769	20.9	9.9	19.8	0.00	0
3	2757	788	1171	3733	17.1	6.1	18.3	0.00	0
4	2194	1346	1069	3698	13.6	2.6	16.8	0.00	0
5	1680	1852	968	3662	10.5	-0.5	15.3	0.00	0
6	1214	2306	868	3626	7.6	-3.4	13.9	0.00	0
7	796	2709	770	3589	5.0	-6.0	12.4	0.00	0
8	425	3063	674	3552	2.7	-8.3	10.9	0.00	0
9	100	3367	579	3515	0.6	-10.4	9.5	0.00	0
10	-180	3623	486	3477	-1.2	-12.2	8.0	1270.00	15
11	-416	3832	396	3439	-2.7	-13.7	6.6	1270.00	35
12	-614	3996	309	3396	-4.0	-15.0	5.2	1270.00	41
13	-783	4116	228	3341	-5.2	-16.2	3.9	1270.00	46
14	-916	4197	152	3284	-6.1	-17.1	2.7	1270.00	47
15	-1015	4239	80	3225	-6.9	-17.9	1.4	1270.00	65
16	-1081	4245	12	3164	-7.5	-18.5	0.2	1270.00	71
17	-1116	4218	-52	3103	-7.9	-18.9	1.0	1270.00	73
18	-1122	4159	-111	3039	-8.1	-19.1	2.1	1270.00	74
19	-1102	4072	-166	2974	-8.2	-19.2	3.2	1270.00	72
20	-1057	3957	-215	2908	-8.0	-19.0	4.2	1270.00	69
21	-991	3819	-260	2841	-7.7	-18.7	5.2	1270.00	67
22	-904	3660	-300	2772	-7.2	-18.2	6.2	1270.00	66
23	-800	3481	-334	2702	-6.6	-17.6	7.1	1270.00	65
24	-681	3287	-364	2631	-5.7	-16.7	7.9	1270.00	57
25	-549	3079	-388	2560	-4.8	-15.8	8.7	1270.00	46
26	-406	2860	-407	2488	-3.6	-14.6	9.4	1270.00	34
27	-256	2633	-421	2415	-2.4	-13.4	10.0	1270.00	21
28	-99	2401	-429	2341	-1.0	-12.0	10.6	1270.00	8
29	60	2166	-433	2268	0.6	-10.4	11.0	0.00	0
30	220	1931	-431	2194	2.3	-8.7	11.3	0.00	0
31	379	1699	-424	2121	4.0	-7.0	11.5	0.00	0
32	534	1472	-412	2048	5.9	-5.1	11.6	0.00	0
33	683	1252	-395	1975	7.8	-3.2	11.5	0.00	0
34	824	1043	-374	1904	9.7	-1.3	11.3	0.00	0
35	954	847	-348	1834	11.7	0.7	10.9	0.00	0
36	1072	666	-317	1766	13.6	2.6	10.3	0.00	0
37	1175	502	-282	1700	15.4	4.4	9.5	0.00	0
38	1262	357	-243	1637	17.1	6.1	8.5	0.00	0
39	1330	235	-200	1578	18.7	7.7	7.3	0.00	0
40	1379	136	-153	1522	20.0	9.0	5.8	0.00	0

41	1405	63	-102	1471	21.1	10.1	4.0	0.00	0
42	1408	17	-48	1426	21.7	10.7	1.9	0.00	0
43	1386	0	9	1386	22.0	11.0	0.4	0.00	0
44	1338	14	69	1354	21.8	10.8	2.9	0.00	0
45	1263	60	132	1329	21.0	10.0	5.7	0.00	0
46	1158	139	196	1312	19.6	8.6	8.6	0.00	0
47	994	310	0	1304	17.2	5.9	0.0	0.00	0
48	1064	218	-245	1306	18.3	7.3	10.8	0.00	0
49	1190	114	-178	1316	20.1	9.1	7.8	0.00	0
50	1286	44	-114	1335	21.3	10.3	4.9	0.00	0
51	1354	7	-52	1362	21.9	10.9	2.2	0.00	0
52	1395	2	7	1396	22.0	11.0	0.3	0.00	0
53	1410	26	63	1438	21.6	10.6	2.5	0.00	0
54	1400	80	116	1485	20.8	9.8	4.5	0.00	0
55	1368	160	166	1537	19.7	8.7	6.2	0.00	0
56	1314	266	212	1594	18.3	7.3	7.6	0.00	0
57	1240	395	254	1654	16.7	5.7	8.8	0.00	0
58	1148	545	292	1718	14.9	3.9	9.8	0.00	0
59	1041	714	326	1785	13.1	2.1	10.5	0.00	0
60	920	899	355	1853	11.1	0.1	11.1	0.00	0
61	786	1099	380	1924	9.2	-1.8	11.4	0.00	0
62	643	1312	400	1995	7.2	-3.8	11.6	0.00	0
63	492	1533	416	2068	5.3	-5.7	11.6	0.00	0
64	336	1762	426	2141	3.5	-7.5	11.5	0.00	0
65	176	1995	432	2214	1.8	-9.2	11.2	0.00	0
66	16	2231	432	2288	0.2	-10.8	10.9	0.00	0
67	-143	2465	427	2361	-1.4	-12.4	10.4	1270.00	12
68	-298	2696	417	2435	-2.7	-13.7	9.9	1270.00	25
69	-446	2921	402	2507	-4.0	-15.0	9.2	1270.00	37
70	-586	3137	382	2580	-5.1	-16.1	8.5	1270.00	39
71	-715	3342	356	2651	-6.0	-17.0	7.7	1270.00	40
72	-830	3532	325	2721	-6.8	-17.8	6.9	1270.00	45
73	-930	3705	289	2791	-7.4	-18.4	5.9	1270.00	48
74	-1011	3859	248	2859	-7.8	-18.8	5.0	1270.00	55
75	-1072	3991	202	2926	-8.1	-19.1	4.0	1270.00	60
76	-1110	4098	151	2992	-8.2	-19.2	2.9	1270.00	63
77	-1123	4178	95	3057	-8.1	-19.1	1.8	1270.00	64
78	-1109	4229	35	3120	-7.8	-18.8	0.6	1270.00	68
79	-1066	4247	-30	3181	-7.4	-18.4	0.5	1270.00	75
80	-991	4231	-99	3241	-6.7	-17.7	1.8	1270.00	74
81	-883	4178	-172	3299	-5.9	-16.9	3.0	1270.00	66
82	-740	4087	-250	3356	-4.9	-15.9	4.3	1270.00	62
83	-560	3955	-331	3411	-3.6	-14.6	5.6	1270.00	47
84	-356	3780	-420	3450	-2.3	-13.3	7.0	1270.00	30
85	-108	3558	-511	3487	-0.7	-11.7	8.4	1270.00	9
86	184	3288	-605	3525	1.2	-9.8	9.9	0.00	0
87	522	2971	-700	3562	3.3	-7.7	11.3	0.00	0
88	906	2604	-797	3599	5.7	-5.3	12.8	0.00	0
89	1337	2187	-895	3636	8.3	-2.7	14.3	0.00	0
90	1816	1719	-995	3672	11.3	0.3	15.7	0.00	0
91	2343	1199	-1097	3708	14.6	3.6	17.2	0.00	0
92	2920	626	-1200	3743	18.1	7.1	18.7	0.00	0
93	3547	0	-1304	3779	22.0	11.0	20.2	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta	Spinta	Car.Vert.	Inclinazione
(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)	
Sinistra	1304	3547	69.8
Destra	1304	3547	69.8

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²)= 10.00/1.2 = 8.33]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

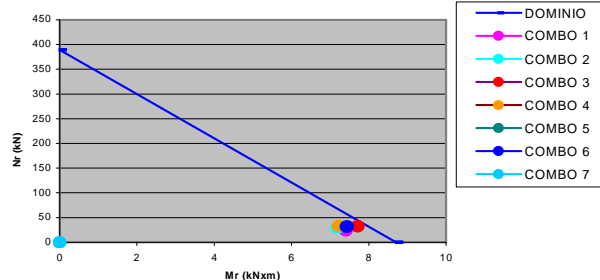
Verifica in chiave

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cm ²]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cm ²]
------	--------	--------------------------------------	---

CHIAVE	1396	1,55	8,33
--------	------	------	------

Verifica alle reni

Caratteristiche dei materiali			Fibre		
			Tipo		
			$f_{f,uk}$	4800	MP a
Fattore confidenza		1.2	E_f	240000	MP a
			ε_{fk}	0.0180	
			t_f	0.047	mm
Muratura			b_f	1000	mm
Muratura			n° strati	1	
f_m	1	MP a	A_f	47.00	mm ²
τ	0.015	MP a	γ_f	1.1	
E_{cm}	1000	MP a	$\gamma_{f,d}$	1.2	
γ_m	2		γ_{Rd}	1	
f_{mdk}	0.42		η_a	0.95	
f_{mdk}^h	0.21	MP a	η_1	0.8	
f_{mtm}	0.10	MP a			
Geometria della sezione					
b	=	1000	mm	Base della sezione	
h	=	220	mm	Altezza della sezione	
DOMINIO DI RESISTENZA E VERIFICHE					
M [kNm]	N [kN]				
8.71	0.00	Dominio di resistenza			
0	389.13				
7.41	23.9	Sollecitazione Esterna 1			
7.19	29.74	Sollecitazione Esterna 2			
7.71	32.25	Sollecitazione Esterna 3			
7.22	32.99	Sollecitazione Esterna 4			
7.42	31.2	Sollecitazione Esterna 5			
7.44	31.81	Sollecitazione Esterna 6			
0	0	Sollecitazione Esterna 7			



Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): 25.333

- Attrito (Taglio nei giunti): 25.333

- Trazione dei rinforzi: 1.710

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): 1.710

Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): 1.710

Riassumendo:

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale

(= Minimo assoluto fra tutte le CCC): **1.710**

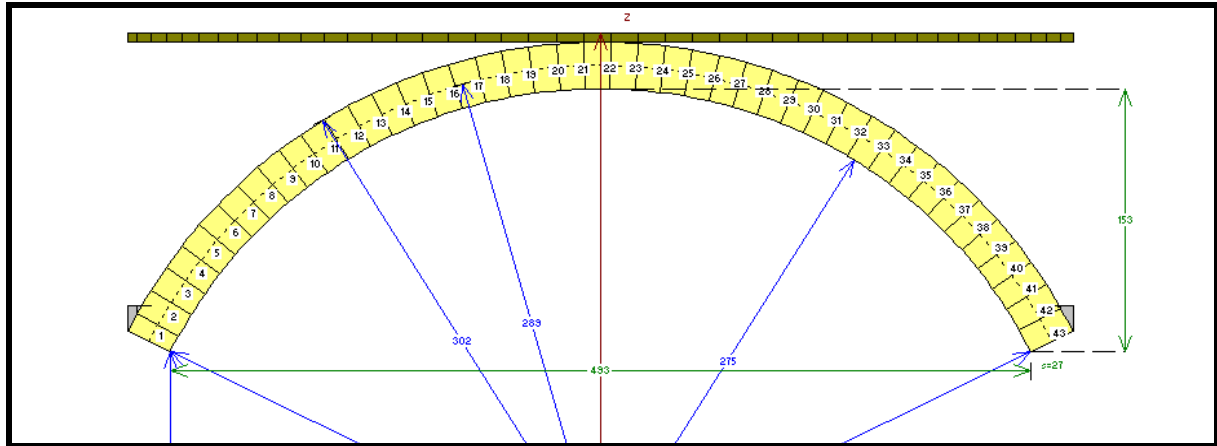
2.7.3 Verifica VOLTA TIPO 3

La VOLTA TIPO 3 è stata indicata negli elaborati grafici di progetto. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1m$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite) = 1600 kg/m³
- Controvolta in PVA ($s = 2$ cm) = 1900 kg/m³

- Carico permanente intonaco di cocciopesto = 90 kg/m²
- Carico accidentale = 200 kg/m²
- Carico neve = 48 kg/m²

NUMERAZIONE DEI CONCI



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco
 Geometria della curva: arco Circolare a sesto ribassato (s=cost.)
 con rinforzo in estradosso
 [Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_Tipo_3]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100
 N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:

Freccia.....(cm) = 153

Corda.....(cm) = 493

Spessore.....(cm) = 27

>>> Altri parametri:

Angolo imposta a°sx....(°) = 153.7

a°dx....(°) = 26.3

Raggio Intradosso R,i..(cm) = 275

Raggio Estradosso R,e..(cm) = 302

Angolo di apertura phi..(°) = 127.3

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:

Altezza.....(cm) = 695

Sezione: Rettangolare

Lx Sup (sommità).....(cm) = 134

Lx Inf (base).....(cm) = 134

Ly(cm) = 100

Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:

Altezza.....(cm) = 695

Sezione: Rettangolare

Lx Sup (sommità).....(cm) = 102

Lx Inf (base).....(cm) = 102

Ly(cm) = 100

Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
 Dist.da linea di chiave(cm) = 153
 Peso specifico....(kgf/m³) =900
 > Sottofondo:
 Spessore.....(cm) = 5
 Peso specifico....(kgf/m³) =1800

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) =1630
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico.....(kgf/m³) =1600
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) =0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f,tk (kgf/cm²) = 1750
 Resistenza a Trazione di progetto: f,td = (1/1) f,tk

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.3

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,500,100,-250,0,200,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Carico neve

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",0

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,500,100,-250,0,48,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5,.75

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm

Baricentri (cm)

N.	Xg	Yg
1	-256.2	133.1
2	-249.9	144.6
3	-242.1	157.4
4	-233.6	169.8
5	-224.4	181.7
6	-214.7	193.1
7	-204.4	204.0
8	-193.5	214.3
9	-182.1	224.1
10	-170.2	233.2
11	-157.8	241.8
12	-145.1	249.7
13	-131.9	256.9
14	-118.4	263.4
15	-104.5	269.2
16	-90.4	274.2
17	-76.0	278.5
18	-61.5	282.1
19	-46.7	284.9
20	-31.9	287.0
21	-16.9	288.2
22	-1.9	288.7
23	13.1	288.4
24	28.1	287.4
25	43.0	285.5
26	57.7	282.9
27	72.4	279.5

28	86.8	275.4
29	101.0	270.5
30	114.9	264.9
31	128.5	258.6
32	141.8	251.5
33	154.6	243.8
34	167.1	235.5
35	179.1	226.5
36	190.6	216.9
37	201.6	206.7
38	212.1	195.9
39	222.0	184.6
40	231.3	172.8
41	240.0	160.6
42	248.0	147.9
43	255.3	134.8

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	49	5	-12.2										
2	66	1	-14.5										
3	66												
4	66												
5	66												
6	66												
7	66												
8	66												
9	66												
10	66												
11	66												
12	66												
13	66												
14	66												
15	66												
16	66												
17	66												
18	66												
19	66												
20	66												
21	66												
22	66												
23	66												
24	66												
25	66												
26	66												
27	66												
28	66												
29	66												
30	66												
31	66												
32	66												
33	66												
34	66												
35	66												
36	66												
37	66												
38	66												
39	66												
40	66												
41	66												
42	66	0	14.5										
43	66	5	12.8										

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1				5	-11.8								
2				7	-11.4								
3				8	-11.1								
4				8	-10.7								

5				9	-10.3								
6				9	-9.8								
7				10	-9.4								
8				10	-8.9								
9				11	-8.3								
10				11	-7.8								
11				12	-7.2								
12				12	-6.6								
13				13	-6.0								
14				13	-5.4								
15				13	-4.8								
16				13	-4.1								
17				14	-3.5								
18				14	-2.8								
19				14	-2.1								
20				14	-1.5								
21				14	-0.8								
22				14	-0.1								
23				14	0.6								
24				14	1.3								
25				14	2.0								
26				14	2.6								
27				14	3.3								
28				13	4.0								
29				13	4.6								
30				13	5.3								
31				13	5.9								
32				12	6.5								
33				12	7.1								
34				12	7.7								
35				11	8.2								
36				11	8.7								
37				10	9.2								
38				10	9.7								
39				9	10.2								
40				8	10.6								
41				8	11.0								
42				7	11.4								
43				7	11.7								

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1													
2													
3							11	-9.9					
4							16	-10.7					
5							18	-10.3					
6							19	-9.8					
7							20	-9.4					
8							21	-8.9					
9							22	-8.3					
10							23	-7.8					
11							23	-7.2					
12							24	-6.6					
13							25	-6.0					
14							26	-5.4					
15							26	-4.8					
16							27	-4.1					
17							27	-3.5					
18							27	-2.8					
19							28	-2.1					
20							28	-1.5					
21							28	-0.8					
22							28	-0.1					
23							28	0.6					
24							28	1.3					
25							28	2.0					
26							27	2.6					
27							27	3.3					
28							27	4.0					
29							26	4.6					
30							26	5.3					
31							25	5.9					

32								24	6.5				
33								24	7.1				
34								23	7.7				
35								22	8.2				
36								21	8.7				
37								20	9.2				
38								19	9.7				
39								18	10.2				
40								17	10.6				
41								15	10.8				
42													
43													

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 4

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1													
2													
3							3	-9.9					
4							4	-10.7					
5							4	-10.3					
6							4	-9.8					
7							5	-9.4					
8							5	-8.9					
9							5	-8.3					
10							5	-7.8					
11							6	-7.2					
12							6	-6.6					
13							6	-6.0					
14							6	-5.4					
15							6	-4.8					
16							6	-4.1					
17							6	-3.5					
18							7	-2.8					
19							7	-2.1					
20							7	-1.5					
21							7	-0.8					
22							7	-0.1					
23							7	0.6					
24							7	1.3					
25							7	2.0					
26							7	2.6					
27							7	3.3					
28							6	4.0					
29							6	4.6					
30							6	5.3					
31							6	5.9					
32							6	6.5					
33							6	7.1					
34							5	7.7					
35							5	8.2					
36							5	8.7					
37							5	9.2					
38							5	9.7					
39							4	10.2					
40							4	10.6					
41							4	10.8					
42													
43													

RISULTATI ANALISI**ARCO n. 1 - Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)****Verifica Soddisfatta****Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta****Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta**

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta**- Sforzi nelle Interfacce dei Conci**

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
	(kgf)	(kgf)	(cm)	(cm)	(°)	(kgf/cm ²)	(cm)		
1	2050	1555	586	3652	15.4	1.9	9.2	0.00	0
2	1798	1759	483	3589	13.6	0.1	7.7	0.00	0
3	1530	1964	349	3512	11.8	-1.7	5.7	0.00	0
4	1316	2096	232	3420	10.4	-3.1	3.9	0.00	0
5	1153	2167	131	3322	9.4	-4.1	2.3	0.00	0
6	1041	2184	42	3225	8.7	-4.8	0.7	0.00	0
7	973	2154	-35	3127	8.4	-5.1	0.6	0.00	0
8	944	2084	-100	3030	8.4	-5.1	1.9	0.00	0
9	949	1981	-154	2934	8.7	-4.8	3.0	0.00	0
10	982	1852	-196	2840	9.4	-4.1	4.0	0.00	0
11	1036	1704	-227	2749	10.2	-3.3	4.7	0.00	0
12	1107	1542	-247	2661	11.3	-2.2	5.3	0.00	0
13	1190	1373	-258	2576	12.5	-1.0	5.7	0.00	0
14	1279	1203	-259	2496	13.9	0.4	5.9	0.00	0
15	1371	1038	-251	2422	15.4	1.9	5.9	0.00	0
16	1461	881	-235	2354	16.8	3.3	5.7	0.00	0
17	1546	737	-212	2293	18.3	4.8	5.3	0.00	0
18	1622	611	-183	2241	19.6	6.1	4.7	0.00	0
19	1687	505	-149	2197	20.8	7.3	3.9	0.00	0
20	1738	423	-111	2163	21.7	8.2	2.9	0.00	0
21	1774	365	-70	2140	22.4	8.9	1.9	0.00	0
22	1793	334	-27	2127	22.8	9.3	0.7	0.00	0
23	1795	331	16	2126	22.8	9.3	0.4	0.00	0
24	1780	355	59	2136	22.5	9.0	1.6	0.00	0
25	1748	405	101	2156	21.9	8.4	2.7	0.00	0
26	1701	482	140	2187	21.0	7.5	3.7	0.00	0
27	1640	582	175	2229	19.9	6.4	4.5	0.00	0
28	1566	703	205	2279	18.6	5.1	5.2	0.00	0
29	1484	843	230	2338	17.2	3.7	5.6	0.00	0
30	1395	996	247	2404	15.7	2.2	5.9	0.00	0
31	1303	1160	257	2477	14.3	0.8	6.0	0.00	0
32	1213	1329	259	2555	12.9	-0.6	5.8	0.00	0
33	1128	1499	251	2639	11.6	-1.9	5.5	0.00	0
34	1053	1663	233	2726	10.5	-3.0	4.9	0.00	0
35	994	1815	205	2817	9.6	-3.9	4.2	0.00	0
36	956	1949	166	2910	8.9	-4.6	3.3	0.00	0
37	944	2060	115	3005	8.5	-5.0	2.2	0.00	0
38	963	2138	53	3102	8.4	-5.1	1.0	0.00	0
39	1020	2179	-21	3200	8.6	-4.9	0.4	0.00	0
40	1121	2175	-108	3297	9.2	-4.3	1.9	0.00	0
41	1271	2118	-205	3395	10.1	-3.4	3.5	0.00	0
42	1475	2002	-316	3492	11.5	-2.0	5.2	0.00	0
43	1724	1817	-449	3569	13.1	-0.4	7.2	0.00	0
44	2051	1553	-586	3652	15.4	1.9	9.2	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta	Spinta	Car.Vert.	Inclinazione
(kgf)	(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)
Sinistra	2125	2970	54.4
Destra	2125	2970	54.4

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²)= 19.00/1.2 = 15.83]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cm ²]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cm ²]
RENI	3127	1,16	15,83
CHIAVE	2126	0,79	15,83

Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): ≥ 100.00

- Attrito (Taglio nei giunti): ≥ 100.00

- Trazione dei rinforzi: ≥ 100.00

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): 41.59

Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): 41.59

Volta (insieme degli archi)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Minimo fra tutti gli archi: 41.59

Moltiplicatore di collasso della Volta in direzione verticale

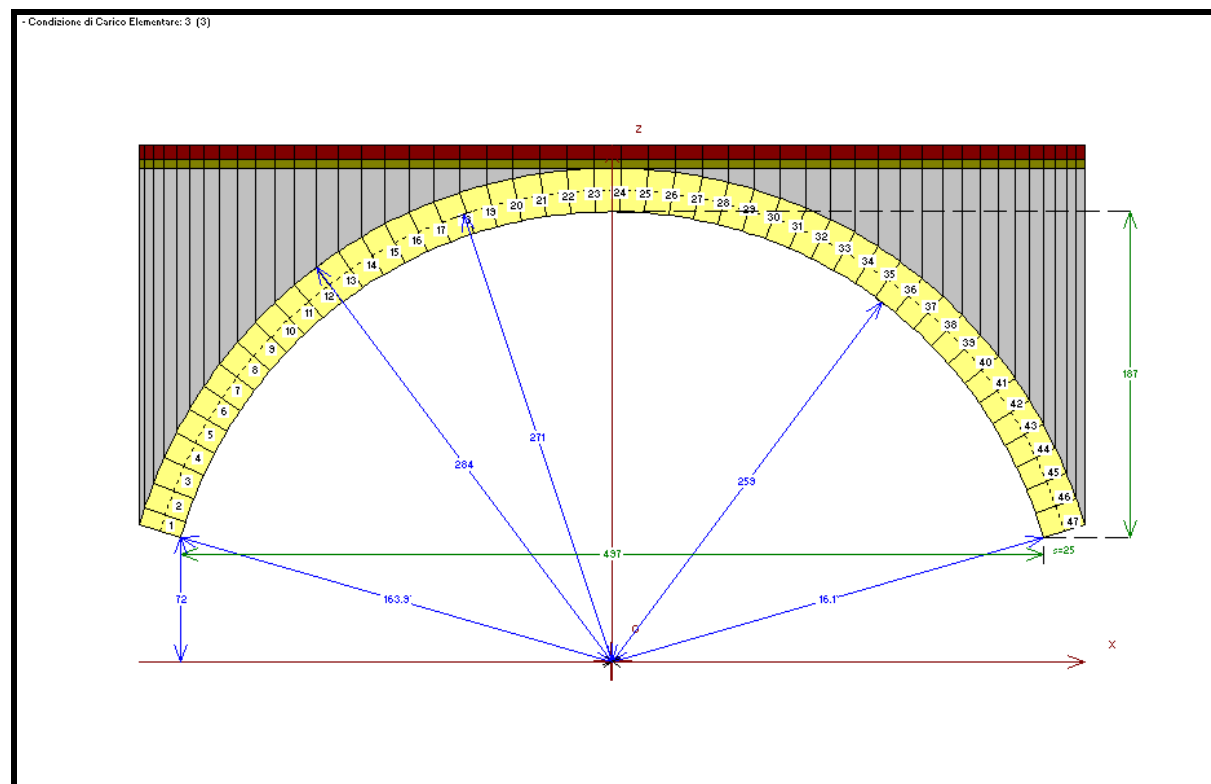
(= Minimo assoluto fra tutti gli archi in tutte le CCC): **41.59**

2.7.4 Verifica VOLTA TIPO 4

La VOLTA TIPO 4 è stata indicata negli elaborati grafici di progetto. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1m$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- | | |
|---|-------------------------|
| - Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite) | = 1600 kg/m^3 |
| - Controvolta in PVA ($s = 2 \text{ cm}$) | = 1900 kg/m^3 |
| - Rinfiacco volta ($s_{\text{chiave}} = 5 \text{ cm}$) | = 900 kg/m^3 |
| - Massetto in calcestruzzo alleggerito ($s = 5 \text{ cm}$) | = 80 kg/m^2 |
| - Pavimento in marmo ($s = 3 \text{ cm}$) | = 80 kg/m^2 |
| - Carico accidentale | = 200 kg/m^2 |

NUMERAZIONE DEI CONCI



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco

Geometria della curva: arco Circolare a sesto ribassato ($s=\text{cost.}$)

con rinforzo in estradosso
[Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_Tipo_4]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100
N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:
Freccia.....(cm) = 187
Corda.....(cm) = 497
Spessore.....(cm) = 25
>>> Altri parametri:
Angolo imposta a°sx....(°) = 163.9
a°dx....(°) = 16.1
Raggio Intradosso R,i..(cm) = 259
Raggio Estradosso R,e..(cm) = 284
Angolo di apertura phi..(°) = 147.8

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:
Altezza.....(cm) = 713
Sezione: Rettangolare
Lx Sup (sommità).....(cm) = 83
Lx Inf (base).....(cm) = 83
Ly(cm) = 100
Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:
Altezza.....(cm) = 713
Sezione: Rettangolare
Lx Sup (sommità).....(cm) = 137
Lx Inf (base).....(cm) = 137
Ly(cm) = 100
Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
Dist.da linea di chiave(cm) = 0
Peso specifico....(kgf/m³) = 900
> Sottofondo:
Spessore.....(cm) = 5
Peso specifico....(kgf/m³) = 900
> Pavimentazione:
Spessore.....(cm) = 8
Peso specifico....(kgf/m³) = 2000

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) = 1630
GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) = 19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico.....(kgf/m³) = 1600
GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) = 35.0 [f = 0.70]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) = 0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f_{tk} (kgf/cm²) = 1750
 Resistenza a Trazione di progetto: $f_{td} = (1/1) f_{tk}$

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.3

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,498,100,-248,0,200,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm**Baricentri (cm)**

N.	Xg	Yg
1	-259.3	79.7
2	-255.4	91.4
3	-250.0	105.4
4	-243.8	119.0
5	-236.8	132.3
6	-229.1	145.2
7	-220.7	157.7
8	-211.7	169.6
9	-202.0	181.1
10	-191.7	192.0
11	-180.7	202.3
12	-169.3	212.0
13	-157.3	221.0
14	-144.8	229.4
15	-131.9	237.0
16	-118.6	244.0
17	-105.0	250.1
18	-91.0	255.6
19	-76.7	260.2
20	-62.2	264.0
21	-47.5	267.1
22	-32.6	269.3
23	-17.7	270.7
24	-2.7	271.3
25	12.3	271.0
26	27.3	269.9
27	42.1	268.0
28	56.9	265.2
29	71.5	261.7
30	85.8	257.3
31	99.9	252.2
32	113.7	246.3
33	127.2	239.6
34	140.2	232.2
35	152.9	224.1
36	165.0	215.3
37	176.7	205.8
38	187.8	195.8
39	198.3	185.1
40	208.3	173.8
41	217.5	162.0
42	226.2	149.8
43	234.1	137.0
44	241.3	123.9
45	247.8	110.3
46	253.5	96.5
47	258.5	82.3

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	39	53	-11.8										
2	61	89	-11.6										
3	61	95	-11.3										
4	61	99	-11.0										
5	61	100	-10.7										
6	61	100	-10.4										
7	61	97	-10.0										
8	61	94	-9.6										
9	61	89	-9.2										
10	61	83	-8.8										
11	61	76	-8.3										
12	61	68	-7.8										
13	61	60	-7.3										
14	61	52	-6.7										
15	61	44	-6.2										
16	61	36	-5.6										
17	61	29	-5.1										
18	61	22	-4.5										
19	61	16	-3.9										

20	61	10	-3.4											
21	61	6	-2.9											
22	61	3	-2.6											
23	61	1	-2.9											
24	61	0	-3.7											
25	61	0	3.3											
26	61	2	2.6											
27	61	5	2.8											
28	61	9	3.2											
29	61	14	3.7											
30	61	20	4.3											
31	61	26	4.9											
32	61	34	5.4											
33	61	41	6.0											
34	61	49	6.6											
35	61	58	7.1											
36	61	66	7.6											
37	61	73	8.1											
38	61	80	8.6											
39	61	87	9.1											
40	61	92	9.5											
41	61	96	9.9											
42	61	99	10.3											
43	61	100	10.6											
44	61	99	10.9											
45	61	97	11.2											
46	61	92	11.5											
47	61	85	11.7											

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1			1	-11.7	5	-11.7							
2			2	-11.5	8	-11.5							
3			3	-11.3	10	-11.3							
4			3	-11.0	11	-11.0							
5			3	-10.7	12	-10.7							
6			4	-10.3	13	-10.3							
7			4	-10.0	15	-10.0							
8			4	-9.6	16	-9.6							
9			5	-9.1	17	-9.1							
10			5	-8.6	18	-8.6							
11			5	-8.2	19	-8.2							
12			6	-7.6	20	-7.6							
13			6	-7.1	20	-7.1							
14			6	-6.5	21	-6.5							
15			6	-6.0	22	-6.0							
16			6	-5.4	23	-5.4							
17			7	-4.7	23	-4.7							
18			7	-4.1	24	-4.1							
19			7	-3.5	24	-3.5							
20			7	-2.8	24	-2.8							
21			7	-2.1	25	-2.1							
22			7	-1.5	25	-1.5							
23			7	-0.8	25	-0.8							
24			7	-0.1	25	-0.1							
25			7	0.6	25	0.6							
26			7	1.2	25	1.2							
27			7	1.9	25	1.9							
28			7	2.6	25	2.6							
29			7	3.2	24	3.2							
30			7	3.9	24	3.9							
31			7	4.5	23	4.5							
32			6	5.1	23	5.1							
33			6	5.7	22	5.7							
34			6	6.3	21	6.3							
35			6	6.9	21	6.9							
36			6	7.4	20	7.4							
37			5	8.0	19	8.0							
38			5	8.5	18	8.5							
39			5	8.9	17	8.9							
40			5	9.4	16	9.4							
41			4	9.8	15	9.8							

42				4	10.2	14	10.2						
43				4	10.6	13	10.6						
44				3	10.9	11	10.9						
45				3	11.2	10	11.2						
46				3	11.4	9	11.4						
47				2	11.7	8	11.7						

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
		rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc
1													
2													
3								4	-9.6				
4								10	-11.0				
5								12	-10.7				
6								13	-10.3				
7								14	-10.0				
8								15	-9.6				
9								16	-9.1				
10								17	-8.6				
11								18	-8.2				
12								18	-7.6				
13								19	-7.1				
14								20	-6.5				
15								21	-6.0				
16								21	-5.4				
17								22	-4.7				
18								22	-4.1				
19								23	-3.5				
20								23	-2.8				
21								23	-2.1				
22								23	-1.5				
23								24	-0.8				
24								24	-0.1				
25								24	0.6				
26								24	1.2				
27								23	1.9				
28								23	2.6				
29								23	3.2				
30								22	3.9				
31								22	4.5				
32								21	5.1				
33								21	5.7				
34								20	6.3				
35								20	6.9				
36								19	7.4				
37								18	8.0				
38								17	8.5				
39								16	8.9				
40								15	9.4				
41								14	9.8				
42								13	10.2				
43								12	10.6				
44								11	10.9				
45								10	11.2				
46								1	9.1				
47													

RISULTATI ANALISI**ARCO n. 1 - Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)****Verifica Soddisfatta****Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta****Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta**

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta**- Sforzi nelle Interfacce dei Conci**

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
		(kgf)		(cm)		(°)	(kgf/cm^2)	(cm)	

1	3540	1931	920	5548	16.2	3.7	9.5	0.00	0
2	3133	2245	766	5432	14.6	2.1	8.1	0.00	0
3	2596	2618	544	5243	12.4	-0.1	6.0	0.00	0
4	2168	2861	350	5041	10.8	-1.7	4.0	0.00	0
5	1832	2992	184	4828	9.5	-3.0	2.2	0.00	0
6	1583	3029	45	4612	8.6	-3.9	0.6	0.00	0
7	1410	2987	-68	4397	8.0	-4.5	0.9	0.00	0
8	1300	2883	-157	4186	7.8	-4.7	2.2	0.00	0
9	1242	2732	-224	3981	7.8	-4.7	3.2	0.00	0
10	1227	2546	-271	3784	8.1	-4.4	4.1	0.00	0
11	1245	2339	-300	3597	8.7	-3.8	4.8	0.00	0
12	1288	2119	-314	3421	9.4	-3.1	5.3	0.00	0
13	1347	1896	-315	3258	10.4	-2.1	5.6	0.00	0
14	1417	1678	-306	3110	11.4	-1.1	5.7	0.00	0
15	1492	1470	-289	2976	12.6	0.1	5.6	0.00	0
16	1568	1276	-266	2856	13.8	1.3	5.3	0.00	0
17	1641	1100	-239	2752	15.0	2.5	5.0	0.00	0
18	1710	944	-209	2662	16.1	3.6	4.5	0.00	0
19	1771	809	-178	2587	17.2	4.7	3.9	0.00	0
20	1824	696	-146	2525	18.1	5.6	3.3	0.00	0
21	1868	606	-115	2476	18.9	6.4	2.7	0.00	0
22	1902	537	-83	2440	19.5	7.0	2.0	0.00	0
23	1925	489	-52	2415	19.9	7.4	1.2	0.00	0
24	1938	464	-22	2402	20.2	7.7	0.5	0.00	0
25	1940	459	9	2400	20.2	7.7	0.2	0.00	0
26	1932	476	40	2409	20.1	7.6	0.9	0.00	0
27	1913	515	70	2429	19.7	7.2	1.7	0.00	0
28	1884	575	102	2461	19.2	6.7	2.4	0.00	0
29	1845	657	133	2505	18.4	5.9	3.1	0.00	0
30	1796	761	165	2562	17.6	5.1	3.7	0.00	0
31	1739	887	197	2633	16.6	4.1	4.3	0.00	0
32	1673	1034	227	2717	15.4	2.9	4.8	0.00	0
33	1602	1202	255	2816	14.3	1.8	5.2	0.00	0
34	1527	1389	280	2930	13.1	0.6	5.5	0.00	0
35	1452	1592	300	3059	11.9	-0.6	5.6	0.00	0
36	1381	1806	312	3202	10.8	-1.7	5.6	0.00	0
37	1318	2027	315	3360	9.8	-2.7	5.4	0.00	0
38	1269	2248	306	3531	9.0	-3.5	5.0	0.00	0
39	1242	2461	282	3714	8.4	-4.1	4.4	0.00	0
40	1245	2655	242	3907	8.0	-4.5	3.6	0.00	0
41	1286	2819	183	4110	7.8	-4.7	2.6	0.00	0
42	1377	2941	102	4319	8.0	-4.5	1.4	0.00	0
43	1526	3007	-2	4533	8.4	-4.1	0.0	0.00	0
44	1747	3000	-132	4749	9.2	-3.3	1.6	0.00	0
45	2051	2904	-288	4963	10.3	-2.2	3.3	0.00	0
46	2449	2703	-470	5174	11.9	-0.6	5.2	0.00	0
47	2944	2380	-682	5367	13.8	1.3	7.3	0.00	0
48	3558	1916	-919	5551	16.3	3.8	9.5	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta | Spinta | Car.Vert. | Inclinazione |
 | (kgf) | (kgf) | sull'orizz.(°) |

Sinistra| 2399| 5002| 64.4|
 Destra | 2399| 5005| 64.4|

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**

[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²) = $19.00/1.2 = 15.83$]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cmq]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cmq]
RENI	4186	1,67	15,83
CHIAVE	2400	0,96	15,83

Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): ≥ 100.00

- Attrito (Taglio nei giunti): ≥ 100.00

- Trazione dei rinforzi: ≥ 100.00

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): 50.23

Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): 50.23

Volta (insieme degli archi)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Minimo fra tutti gli archi: 50.23

Moltiplicatore di collasso della Volta in direzione verticale

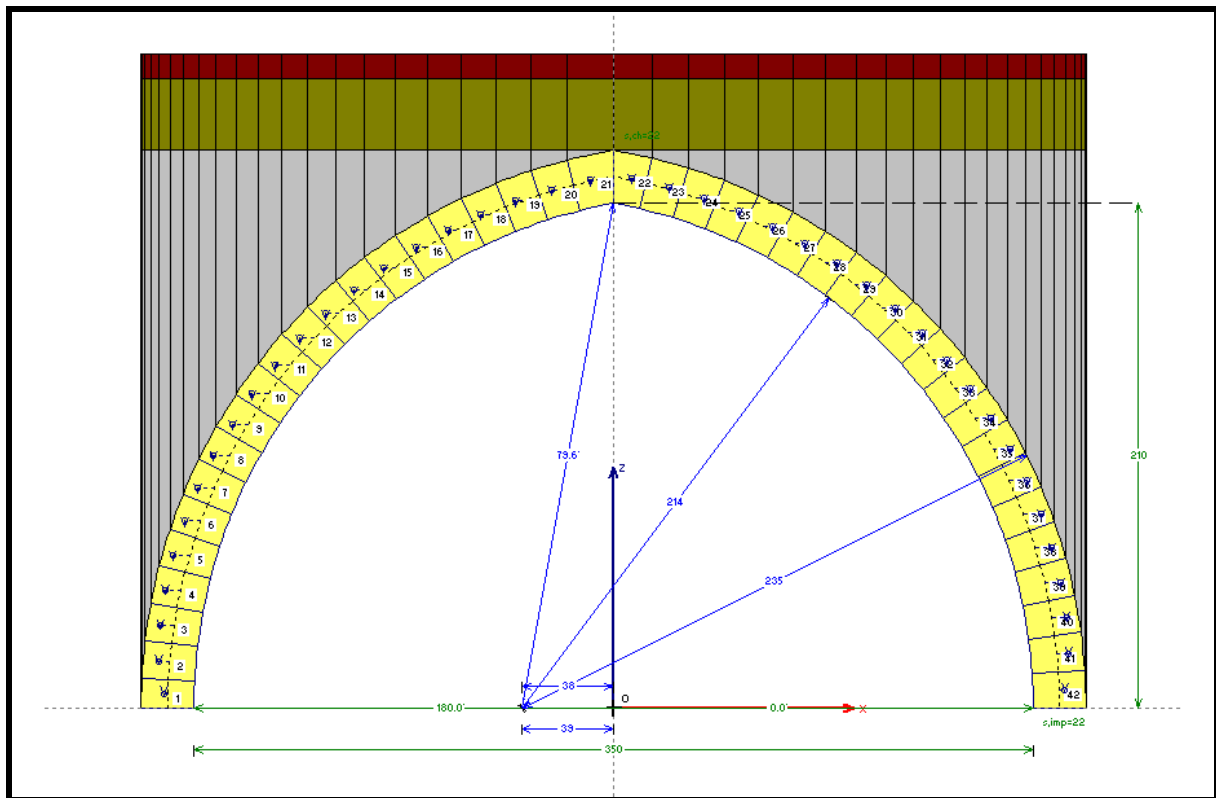
(= Minimo assoluto fra tutti gli archi in tutte le CCC): **50.23**

2.7.5 Verifica VOLTA TIPO 6

La VOLTA TIPO 6 è stata indicata negli elaborati grafici di progetto. La volta è stata analizzata modellando due archi di profondità unitaria ($L=1\text{m}$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite)	= 1600 kg/m^3
- Controvolta in PVA ($s = 2 \text{ cm}$)	= 1900 kg/m^3
- Rinfianco volta ($s_{\text{chiave}} = 30 \text{ cm}$)	= 900 kg/m^3
- Massetto in calcestruzzo armato ($s = 5 \text{ cm}$)	= 125 kg/m^2
- Malta di allettamento ($s = 2 \text{ cm}$)	= 60 kg/m^2
- Pavimento ($s = 1 \text{ cm}$)	= 45 kg/m^2
- Carico accidentale	= 400 kg/m^2

NUMERAZIONE DEI CONCI ARCO SEZ. A-A



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco
 Geometria della curva: arco Circolare a sesto acuto (s=var.)
 con rinforzo in estradosso
 [Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_6_-_Sez_A-A]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100
 N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	100				

- ARCO

> Dati in input:
 Freccia.....(cm) = 210
 Corda.....(cm) = 350
 Angolo imposta a°sx....(°) = 180.0
 a°dx....(°) = 0.0
 Spessore all'imposta...(cm) = 22
 Spessore in chiave.....(cm) = 22
 >>> Altri parametri:
 Altezza imposta H,i,sx (cm) = 0
 H,i,dx (cm) = 0
 Raggio Intradosso R,i..(cm) = 214
 Raggio Estradosso R,e..(cm) = 235
 Angolo in chiave phi....(°) = 79.6

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:
 Altezza.....(cm) = 300
 Sezione: Rettangolare

Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 80
 Lx Inf (base).....(cm) = 80
 Ly(cm) = 80
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:
 Altezza.....(cm) = 300
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 80
 Lx Inf (base).....(cm) = 80
 Ly(cm) = 80
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
 Dist.da linea di chiave(cm) = 0
 Peso specifico....(kgf/m³) =900
 > Sottofondo:
 Spessore.....(cm) = 30
 Peso specifico....(kgf/m³) =900
 > Pavimentazione:
 Spessore.....(cm) = 10
 Peso specifico....(kgf/m³) =2300

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) =1630
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico.....(kgf/m³) =1600
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) =0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f,tk (kgf/cm²) = 1750
 Resistenza a Trazione di progetto: f,td = (1/1) f,tk

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHIDi superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.6

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHIDi superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,350,100,-175,0,400,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm**Baricentri (cm)**

N.	Xg	Yg
1	-186.1	5.9
2	-185.3	19.4
3	-183.5	34.2
4	-180.7	49.0
5	-177.0	63.5
6	-172.2	77.8
7	-166.6	91.7
8	-160.0	105.1
9	-152.5	118.2
10	-144.2	130.6
11	-135.1	142.5
12	-125.1	153.8
13	-114.5	164.4
14	-103.2	174.2
15	-91.2	183.3
16	-78.7	191.5
17	-65.6	198.9
18	-52.1	205.4
19	-38.2	211.0
20	-23.9	215.6
21	-8.4	219.9
22	6.9	220.4
23	20.8	216.5
24	35.2	212.1
25	49.2	206.7
26	62.8	200.4
27	76.0	193.2
28	88.6	185.1
29	100.7	176.2
30	112.2	166.5

31	123.0	156.1
32	133.0	145.0
33	142.3	133.2
34	150.8	120.8
35	158.5	107.9
36	165.3	94.5
37	171.1	80.7
38	176.0	66.5
39	180.0	52.1
40	183.0	37.3
41	185.0	22.5
42	186.0	7.5

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	42	7	-10.8										
2	53	26	-10.7										
3	53	42	-10.6										
4	53	56	-10.5										
5	53	66	-10.3										
6	53	74	-10.1										
7	53	79	-9.8										
8	53	81	-9.5										
9	53	81	-9.2										
10	53	78	-8.8										
11	53	74	-8.4										
12	53	69	-7.9										
13	52	62	-7.4										
14	52	54	-6.9										
15	52	46	-6.4										
16	52	38	-5.8										
17	52	30	-5.3										
18	52	22	-4.7										
19	52	15	-4.2										
20	52	8	-3.8										
21	59	3	-4.7										
22	48	2	4.0										
23	52	7	3.8										
24	52	13	4.1										
25	52	20	4.6										
26	52	28	5.2										
27	52	36	5.7										
28	52	44	6.3										
29	52	53	6.8										
30	53	60	7.3										
31	53	67	7.8										
32	53	73	8.3										
33	53	78	8.7										
34	53	80	9.1										
35	53	81	9.5										
36	53	79	9.8										
37	53	75	10.1										
38	53	68	10.3										
39	53	58	10.5										
40	53	45	10.6										
41	53	29	10.7										
42	53	11	10.7										

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1				1	-10.8	1	-10.8						
2				4	-10.7	3	-10.7						
3				6	-10.6	6	-10.6						
4				9	-10.5	8	-10.5						
5				12	-10.3	10	-10.3						
6				15	-10.1	13	-10.1						
7				17	-9.8	15	-9.8						
8				20	-9.5	17	-9.5						
9				22	-9.1	19	-9.1						

10				25	-8.7	21	-8.7						
11				27	-8.3	23	-8.3						
12				29	-7.8	25	-7.8						
13				31	-7.3	27	-7.3						
14				33	-6.7	28	-6.7						
15				35	-6.2	30	-6.2						
16				36	-5.5	31	-5.5						
17				38	-4.9	32	-4.9						
18				39	-4.3	33	-4.3						
19				40	-3.6	34	-3.6						
20				41	-2.9	35	-2.9						
21				52	-1.2	44	-1.2						
22				43	1.2	37	1.2						
23				41	2.8	35	2.8						
24				40	3.5	34	3.5						
25				39	4.1	33	4.1						
26				38	4.8	32	4.8						
27				37	5.4	31	5.4						
28				35	6.0	30	6.0						
29				33	6.6	28	6.6						
30				32	7.2	27	7.2						
31				30	7.7	25	7.7						
32				27	8.2	23	8.2						
33				25	8.6	21	8.6						
34				23	9.0	19	9.0						
35				20	9.4	17	9.4						
36				18	9.7	15	9.7						
37				15	10.0	13	10.0						
38				13	10.2	11	10.2						
39				10	10.4	8	10.4						
40				7	10.6	6	10.6						
41				4	10.7	4	10.7						
42				1	10.7	1	10.7						

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1							1	-10.8					
2							2	-10.7					
3							4	-10.6					
4							6	-10.5					
5							8	-10.3					
6							10	-10.1					
7							12	-9.8					
8							13	-9.5					
9							15	-9.1					
10							17	-8.7					
11							18	-8.3					
12							20	-7.8					
13							21	-7.3					
14							22	-6.7					
15							23	-6.2					
16							24	-5.5					
17							25	-4.9					
18							26	-4.3					
19							27	-3.6					
20							27	-2.9					
21							35	-1.2					
22							29	1.2					
23							27	2.8					
24							27	3.5					
25							26	4.1					
26							25	4.8					
27							24	5.4					
28							23	6.0					
29							22	6.6					
30							21	7.2					
31							20	7.7					
32							18	8.2					
33							17	8.6					
34							15	9.0					
35							14	9.4					

36								12	9.7				
37								10	10.0				
38								8	10.2				
39								7	10.4				
40								5	10.6				
41								3	10.7				
42								1	10.7				

RISULTATI ANALISI**ARCO n. 1****- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)****Verifica Soddisfatta****Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta****Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta**

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta**- Sforzi nelle Interfacce dei Conci**

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
		(kgf)		(cm)	(°)	(kgf/cm^2)	(cm)		
1	4367	386	1591	5013	20.2	9.2	18.5	0.00	0
2	3576	1189	1341	4950	16.5	5.5	15.7	0.00	0
3	2723	2006	1033	4840	12.7	1.7	12.3	0.00	0
4	2037	2605	743	4701	9.7	-1.3	9.1	0.00	0
5	1503	3008	475	4535	7.3	-3.7	6.0	0.00	0
6	1109	3233	233	4348	5.6	-5.4	3.1	0.00	0
7	859	3286	30	4144	4.6	-6.4	0.4	0.00	0
8	710	3214	-145	3927	4.0	-7.0	2.1	0.00	0
9	663	3027	-281	3701	3.9	-7.0	4.4	0.00	0
10	691	2758	-385	3470	4.4	-6.6	6.4	0.00	0
11	779	2427	-453	3238	5.3	-5.6	8.0	0.00	0
12	903	2064	-495	3008	6.7	-4.3	9.5	0.00	0
13	1059	1680	-499	2785	8.5	-2.5	10.3	0.00	0
14	1219	1306	-484	2570	10.5	-0.4	10.9	0.00	0
15	1376	952	-439	2369	12.9	2.0	10.7	0.00	0
16	1515	637	-372	2184	15.4	4.5	9.8	0.00	0
17	1619	377	-300	2018	17.7	6.8	8.5	0.00	0
18	1686	178	-204	1875	19.7	8.8	6.2	0.00	0
19	1704	52	-106	1759	21.1	10.2	3.5	0.00	0
20	1668	3	2	1671	21.7	10.8	0.1	0.00	0
21	1573	38	123	1615	21.2	10.3	4.4	0.00	0
22	1391	200	-1	1591	19.2	8.2	0.0	0.00	0
23	1546	54	-149	1608	21.0	10.1	5.3	0.00	0
24	1656	0	-32	1656	21.7	10.9	1.1	0.00	0
25	1706	30	80	1737	21.4	10.5	2.6	0.00	0
26	1700	139	181	1848	20.1	9.3	5.6	0.00	0
27	1644	321	280	1985	18.2	7.3	8.1	0.00	0
28	1548	568	355	2146	16.0	5.1	9.5	0.00	0
29	1417	871	425	2327	13.5	2.6	10.5	0.00	0
30	1265	1215	472	2525	11.1	0.2	10.8	0.00	0
31	1103	1588	498	2737	9.0	-2.0	10.5	0.00	0
32	948	1969	496	2959	7.1	-3.8	9.6	0.00	0
33	814	2339	465	3187	5.7	-5.3	8.4	0.00	0
34	723	2672	398	3419	4.7	-6.3	6.7	0.00	0
35	679	2959	305	3651	4.1	-6.9	4.8	0.00	0
36	706	3168	178	3878	4.0	-7.0	2.6	0.00	0
37	831	3267	12	4098	4.4	-6.5	0.2	0.00	0
38	1069	3232	-190	4305	5.5	-5.5	2.5	0.00	0
39	1433	3043	-424	4496	7.0	-4.0	5.4	0.00	0
40	1935	2680	-686	4666	9.2	-1.8	8.5	0.00	0
41	2587	2125	-971	4811	12.1	1.1	11.6	0.00	0
42	3405	1354	-1276	4927	15.8	4.7	15.0	0.00	0
43	4387	364	-1591	5011	20.3	9.3	18.5	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

|Imposta | Spinta |Car.Vert.|Inclinazione |

	(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)
Sinistra	1591	4754	71.5
Destra	1591	4751	71.5

- Analisi Sismica NON eseguita

Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm^2) = $19.00/1.2 = 15.83$]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cm ²]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cm ²]
RENI	3878	6,45	15,83
CHIAVE	1615	2,15	15,83

Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE

Arco Ideale: 1 (1)

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): ≥ 100.000

- Attrito (Taglio nei giunti): ≥ 100.000

- Trazione dei rinforzi: ≥ 100.000

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): ≥ 100.000

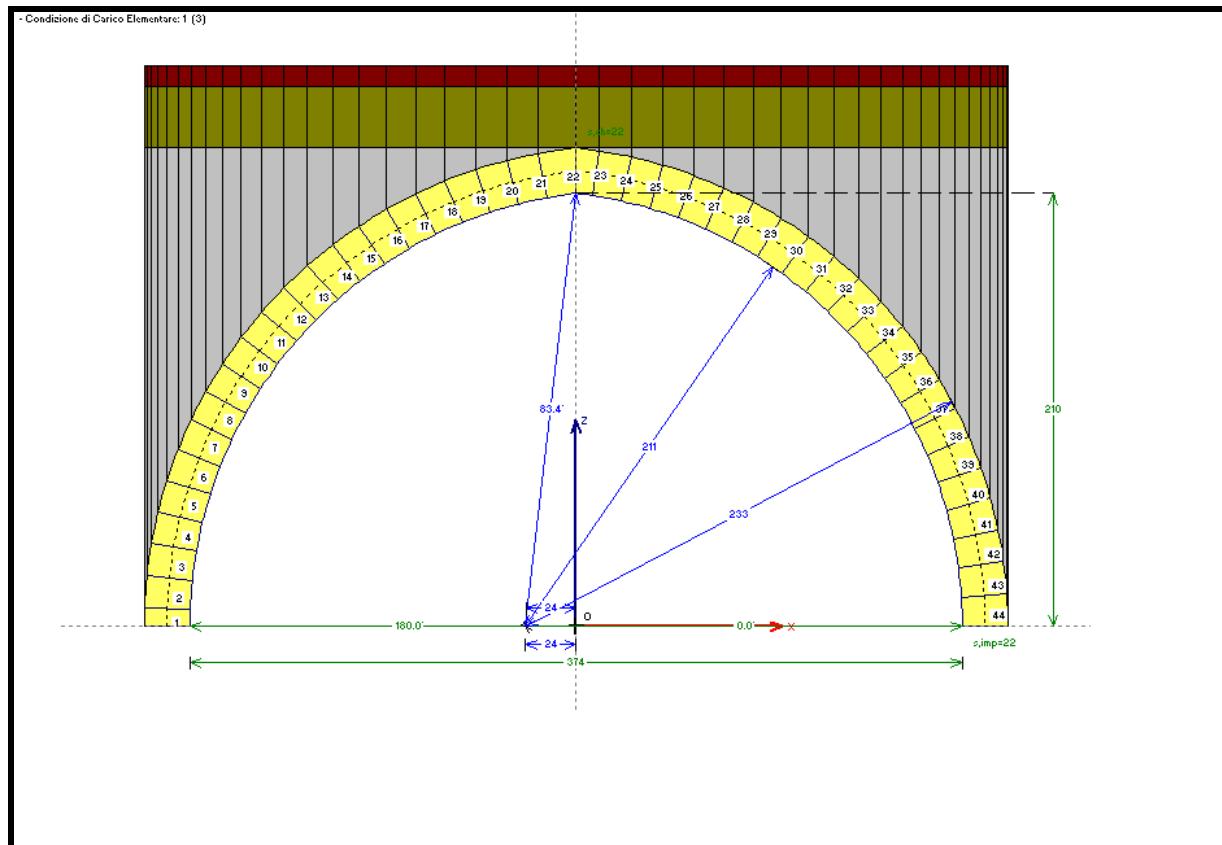
Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): ≥ 100.000

Riassumendo:

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale

(= Minimo assoluto fra tutte le CCC): ≥ 100.000

NUMERAZIONE DEI CONCI SEZIONE B-B



DATI PROGETTO

Tipologia: Singolo arco

Geometria della curva: arco Circolare a sesto acuto (s=var.)

con rinforzo in estradosso

[Nome del file (archivio del software SAV): 1136_-_Volta_6_-_Sez_B-B]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

Profondità.....(cm) = 100

N° Archi Ideali di calcolo = 1

- DATI ARCHI IDEALI

N.	Ly	Catena	d	Z	f,yd
	(cm)		(mm)	(cm)	[(kgf/cm ²)]
1	100				

- ARCO

> Dati in input:

Freccia.....(cm) = 210

Corda.....(cm) = 374

Angolo imposta a°sx....(°) = 180.0

a°dx....(°) = 0.0

Spessore all'imposta...(cm) = 22

Spessore in chiave.....(cm) = 22

>>> Altri parametri:

Altezza imposta H,i,sx (cm) = 0

H,i,dx (cm) = 0

Raggio Intradosso R,i..(cm) = 211

Raggio Estradosso R,e..(cm) = 233

Angolo in chiave phi....(°) = 83.4

- MURI / PIEDRITTI

> Piedritto Sinistro:

Altezza.....(cm) = 300
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 80
 Lx Inf (base).....(cm) = 80
 Ly(cm) = 80
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

> Piedritto Destro:
 Altezza.....(cm) = 300
 Sezione: Rettangolare
 Piedritto in asse..... = no
 Lx Sup (sommità).....(cm) = 80
 Lx Inf (base).....(cm) = 80
 Ly(cm) = 80
 Dist. int./intrad. dX..(cm) = 0

- CONTORNO

> Rinfianchi (o Riempimento):
 Dist.da linea di chiave(cm) = 0
 Peso specifico....(kgf/m³) =900
 > Sottofondo:
 Spessore.....(cm) = 30
 Peso specifico....(kgf/m³) =900
 > Pavimentazione:
 Spessore.....(cm) = 10
 Peso specifico....(kgf/m³) =2300

- MURATURA VOLTA

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico equivalente.....(kgf/m³) =1630
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- MURATURA PIEDRITTI

Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
 Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm²) =19
 Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
 Peso Specifico.....(kgf/m³) =1600
 GIUNTI: Angolo d'attrito interno.....(°) =35.0 [f = 0.70]

- RINFORZI

Nastri in FRP posti all'estradosso
 Tipologia: Carbonio alta resistenza
 Spessore nastri.....(mm) =0.047
 Resistenza caratteristica a Trazione f,tk (kgf/cm²) = 1750
 Resistenza a Trazione di progetto: f,td = (1/1) f,tk

CARICHI: Condizioni di Carico Elementari

Permanenti Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottof, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

-1,-1,-1,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Permanenti Non Strutturali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",1

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,-1,-1

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

Accidentali

PARAMETRI GENERALI

"Per Analisi Sismica: (psi),2 (SLU; valore quasi-permanente dell'azione)",.6

PESI PROPRI

Volta, Rinf.Sx, Rinf.DX, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)

0,0,0,0,0

ALTRI CARICHI

Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m² - kN/m²),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

1,374,100,-187,0,400,-1,-1,-1

Lineari: X(=-1)/Y(=0),Dim,X,Y(cm),q(kgf/m - kN/m),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Concentrati: X,Y(cm),P(kgf - kN),diff.45°,molt.vert.,molt.orizz.

0

Aggiuntivi sui piedritti: Sx(=-1)/Dx(=0),Fx,Fz(kgf - kN),ex,z'(cm),stat.,sism.+X,sism.-X

0

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

1,"Combinazione n°1",1.3,1.5,1.5

DATI CONCI - Carichi in kgf, Lunghezze in cm

Baricentri (cm)

N.	Xg	Yg
1	-198.1	4.3
2	-197.6	16.1
3	-196.0	31.0
4	-193.4	45.8
5	-189.8	60.4
6	-185.2	74.7
7	-179.7	88.6
8	-173.3	102.2
9	-165.9	115.3
10	-157.7	127.8
11	-148.7	139.8
12	-138.9	151.2
13	-128.3	161.8
14	-117.1	171.8
15	-105.2	180.9
16	-92.7	189.2
17	-79.7	196.7
18	-66.2	203.2
19	-52.3	208.9
20	-38.0	213.6
21	-23.5	217.3
22	-8.1	220.4
23	4.9	221.0
24	17.2	218.6
25	31.8	215.3
26	46.2	211.0
27	60.3	205.8
28	74.0	199.6

29	87.2	192.5
30	99.9	184.5
31	112.1	175.7
32	123.6	166.1
33	134.5	155.8
34	144.6	144.7
35	154.0	133.0
36	162.5	120.7
37	170.3	107.8
38	177.1	94.5
39	183.0	80.7
40	188.0	66.5
41	192.0	52.0
42	195.0	37.3
43	197.0	22.5
44	198.0	7.5

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 1

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1	30	4	-10.8										
2	53	22	-10.7										
3	53	39	-10.6										
4	53	54	-10.5										
5	53	65	-10.4										
6	53	73	-10.2										
7	53	78	-9.9										
8	53	81	-9.6										
9	53	81	-9.3										
10	53	80	-8.9										
11	53	76	-8.5										
12	53	71	-8.0										
13	53	64	-7.5										
14	53	57	-7.0										
15	53	49	-6.5										
16	53	40	-5.9										
17	53	32	-5.3										
18	53	24	-4.8										
19	53	17	-4.2										
20	53	11	-3.7										
21	52	6	-3.3										
22	57	2	-4.2										
23	35	1	2.8										
24	52	4	3.3										
25	53	9	3.5										
26	53	14	4.0										
27	53	21	4.5										
28	53	29	5.1										
29	53	37	5.7										
30	53	45	6.2										
31	53	53	6.8										
32	53	61	7.3										
33	53	68	7.8										
34	53	74	8.3										
35	53	78	8.7										
36	53	81	9.1										
37	53	82	9.5										
38	53	80	9.8										
39	53	76	10.0										
40	53	69	10.3										
41	53	59	10.5										
42	53	46	10.6										
43	53	30	10.7										
44	53	11	10.7										

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 2

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1			0	-10.8	0	-10.8							
2			3	-10.7	3	-10.7							
3			6	-10.6	5	-10.6							

4			9 -10.5	7 -10.5						
5			12 -10.3	10 -10.3						
6			14 -10.1	12 -10.1						
7			17 -9.8	14 -9.8						
8			20 -9.5	17 -9.5						
9			22 -9.2	19 -9.2						
10			24 -8.8	21 -8.8						
11			27 -8.3	23 -8.3						
12			29 -7.9	25 -7.9						
13			31 -7.4	26 -7.4						
14			33 -6.8	28 -6.8						
15			35 -6.2	29 -6.2						
16			36 -5.6	31 -5.6						
17			38 -5.0	32 -5.0						
18			39 -4.4	33 -4.4						
19			40 -3.7	34 -3.7						
20			41 -3.0	35 -3.0						
21			41 -2.3	35 -2.3						
22			49 -0.9	42 -0.9						
23			31 0.8	26 0.8						
24			42 2.0	36 2.0						
25			41 2.7	35 2.7						
26			40 3.4	34 3.4						
27			39 4.1	33 4.1						
28			38 4.7	32 4.7						
29			37 5.4	31 5.4						
30			35 6.0	30 6.0						
31			34 6.6	29 6.6						
32			32 7.1	27 7.1						
33			30 7.6	25 7.6						
34			28 8.1	24 8.1						
35			25 8.6	22 8.6						
36			23 9.0	20 9.0						
37			21 9.4	18 9.4						
38			18 9.7	15 9.7						
39			15 10.0	13 10.0						
40			13 10.2	11 10.2						
41			10 10.4	8 10.4						
42			7 10.6	6 10.6						
43			4 10.7	4 10.7						
44			1 10.7	1 10.7						

Arco n. 1 - Condizione di Carico Elementare n. 3

N.	Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Pp	Dx Pp	Car	Dx Car	Car	Dx Car	Car	Dx Car
	rinf	rinf	sottof	sottof	pavim	pavim	sup	sup	lin	lin	conc	conc	
1							0 -10.8						
2							2 -10.7						
3							4 -10.6						
4							6 -10.5						
5							8 -10.3						
6							10 -10.1						
7							11 -9.8						
8							13 -9.5						
9							15 -9.2						
10							17 -8.8						
11							18 -8.3						
12							20 -7.9						
13							21 -7.4						
14							22 -6.8						
15							23 -6.2						
16							25 -5.6						
17							25 -5.0						
18							26 -4.4						
19							27 -3.7						
20							28 -3.0						
21							28 -2.3						
22							33 -0.9						
23							21 0.8						
24							28 2.0						
25							28 2.7						
26							27 3.4						
27							27 4.1						
28							26 4.7						
29							25 5.4						

30						24	6.0				
31						23	6.6				
32						22	7.1				
33						20	7.6				
34						19	8.1				
35						17	8.6				
36						16	9.0				
37						14	9.4				
38						12	9.7				
39						10	10.0				
40						9	10.2				
41						7	10.4				
42						5	10.6				
43						3	10.7				
44						1	10.7				

RISULTATI ANALISI

ARCO n. 1

- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio dell'arco) Soddisfatta

Verifica ad Attrito (Taglio nei giunti) Soddisfatta

[confronto tra Angoli di Scorrimento e Angolo di Attrito Interno dei giunti (35°) / Coeff.Sic.(1.5) = 23.3°]

Verifica a Trazione dei rinforzi Soddisfatta

- Sforzi nelle Interfacce dei Conci

N.	N estrad.	N intrad.	Taglio	Risult.	Dist.In.	Dist.Asse	Ang.Scor.	Tens,Rinf	L,FRP
	(kgf)	(kgf)	(cm)	(cm)	(°)	(kgf/cm^2)	(cm)		
1	4813	148	1779	5270	21.3	10.3	19.7	0.00	0
2	4163	817	1588	5227	18.4	7.4	17.7	0.00	0
3	3166	1802	1260	5125	14.0	3.0	14.2	0.00	0
4	2347	2555	947	4992	10.5	-0.5	10.9	0.00	0
5	1691	3097	654	4832	7.8	-3.2	7.8	0.00	0
6	1202	3432	392	4650	5.7	-5.3	4.8	0.00	0
7	856	3591	160	4450	4.2	-6.8	2.1	0.00	0
8	625	3611	-46	4236	3.2	-7.7	0.6	0.00	0
9	525	3481	-205	4012	2.9	-8.1	2.9	0.00	0
10	513	3255	-332	3782	3.0	-8.0	5.0	0.00	0
11	574	2951	-425	3551	3.6	-7.4	6.9	0.00	0
12	684	2600	-491	3321	4.6	-6.4	8.5	0.00	0
13	842	2210	-520	3096	6.1	-4.9	9.7	0.00	0
14	1023	1810	-519	2880	7.9	-3.1	10.4	0.00	0
15	1208	1421	-498	2675	10.1	-0.9	10.7	0.00	0
16	1387	1056	-454	2485	12.5	1.5	10.5	0.00	0
17	1547	731	-396	2312	14.9	3.9	9.9	0.00	0
18	1680	455	-321	2159	17.2	6.3	8.6	0.00	0
19	1775	240	-237	2029	19.3	8.3	6.7	0.00	0
20	1828	91	-141	1924	20.9	9.9	4.2	0.00	0
21	1831	15	-39	1847	21.7	10.8	1.2	0.00	0
22	1782	15	64	1798	21.7	10.8	2.0	0.00	0
23	1665	114	-2	1779	20.6	9.6	0.1	0.00	0
24	1745	37	-114	1786	21.4	10.5	3.6	0.00	0
25	1821	0	-8	1821	21.9	10.9	0.3	0.00	0
26	1843	41	95	1886	21.4	10.5	2.9	0.00	0
27	1814	156	191	1979	20.2	9.2	5.5	0.00	0
28	1739	340	283	2098	18.3	7.4	7.7	0.00	0
29	1623	589	364	2241	16.1	5.1	9.3	0.00	0
30	1477	891	428	2406	13.7	2.7	10.2	0.00	0
31	1302	1240	486	2589	11.2	0.3	10.8	0.00	0
32	1123	1617	512	2787	9.0	-2.0	10.6	0.00	0
33	938	2014	525	2999	7.0	-4.0	10.1	0.00	0
34	780	2401	499	3220	5.4	-5.6	8.9	0.00	0
35	644	2774	455	3448	4.1	-6.9	7.6	0.00	0
36	562	3099	374	3679	3.4	-7.6	5.8	0.00	0
37	534	3367	267	3910	3.0	-8.0	3.9	0.00	0
38	602	3533	117	4137	3.2	-7.8	1.6	0.00	0
39	781	3574	-71	4356	3.9	-7.1	0.9	0.00	0
40	1068	3485	-287	4562	5.2	-5.8	3.6	0.00	0

41	1494	3228	-537	4753	6.9	-4.0	6.5	0.00	0
42	2083	2771	-819	4923	9.4	-1.6	9.6	0.00	0
43	2831	2111	-1123	5068	12.6	1.6	12.8	0.00	0
44	3755	1223	-1447	5183	16.6	5.6	16.2	0.00	0
45	4853	104	-1779	5266	21.5	10.5	19.7	0.00	0

- Azioni alle imposte (Spinte dall'arco sui piedritti)

Imposta	Spinta	Car.Vert.	Inclinazione
(kgf)	(kgf)	sull'orizz.(°)	
Sinistra	1779	4961	70.3
Destra	1779	4957	70.3

- Analisi Sismica NON eseguita**Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta**

[confronto tra Tensione media di Compressione e Resistenza di progetto f_d (kgf/cm²)= 19.00/1.2 = 15.83]

Le verifiche sono state condotte controllando che la tensione massima di compressione per la sezione parzializzata non superi il valore limite di progetto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di fogli di calcolo utilizzando le sollecitazioni desunte dal modello di calcolo sopra illustrato. Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche espresse in termini tensionali.

SEZ.	N [Kg]	SIGMA MURATURA [Kg/cmq]	SIGMA DI PROGETTO [Kg/cmq]
RENI	3910	8,65	15,83
CHIAVE	1821	2,42	15,83

Le tensioni sopra calcolate sono compatibili con le tensioni massime di progetto degli elementi resistenti come definite nel presente capitolo al § 2.2 "Caratteristiche meccaniche dei materiali e livelli di conoscenza". Risulta pertanto che le verifiche di sicurezza della volta oggetto del rinforzo sono soddisfatte.

- MOLTIPLICATORI DI COLLASSO IN DIREZIONE VERTICALE**Arco Ideale: 1 (1)**

Combinazione di Condizioni di Carico (CCC): 1 (1)

- Stabilità (Equilibrio della struttura): ≥ 100.000

- Attrito (Taglio nei giunti): ≥ 100.000

- Trazione dei rinforzi: ≥ 100.000

Minimo fra i valori precedenti (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 nella CCC 1): ≥ 100.000

Minimo valore (= Massimo moltiplicatore consentito per l'arco 1 fra tutte le CCC): ≥ 100.000

Riassumendo:

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale

(= Minimo assoluto fra tutte le CCC): ≥ 100.000

2.8 FASI ESECUTIVE PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE VOLTE

L'intervento di rinforzo strutturale all'estradosso delle volte dovrà essere svolto seguendo le seguenti fasi:

1. Puntellatura della volta e realizzazione di tutti gli approntamenti di cantiere necessari per operare in sicurezza.
2. Rimozione degli intonaci pericolanti all'intradosso della volta, demolizione del pavimento (se presente) e svuotamento della volta all'estradosso.
3. Ripristino di parti eventualmente mancanti e sarcitura delle lesioni presenti previa iniezione a bassa pressione con adesivo idraulico.
4. Esecuzione di perfori armati con barre ad aderenza migliorata sulle murature perimetrali per l'ancoraggio della malta strutturale fibrorinforzata con fibre in polivinilalcol (PVA) alla muratura stessa e loro inghisaggio con adesivo idraulico speciale.
5. Pulizia dell'estradosso della volta mediante la rimozione e l'asportazione del materiale di risulta e bagnare a rifiuto la superficie.

6. Realizzazione all'estradosso della volta di una soletta in malta strutturale fibrorinforzata con fibre in polivinilalcol raccordata in prossimità delle imposte.
7. Applicazione all'estradosso del rinforzo seguendo le prescrizioni della scheda tecnica del prodotto e con gli strati e le modalità indicate nel presente progetto.
8. Riempimento dei fianchi della volta con argilla espansa legata ove previsto.
9. Realizzazione delle finiture ove previste.
10. Spuntellatura e rimozione degli approntamenti di cantiere.

PRECAUZIONI:

- Sarcitura delle eventuali lesioni mediante iniezioni di malta a ritiro compensato chimicamente compatibili come previsto dal progetto Tav.4.1...4.5.
- Il supporto deve essere ben pulito e regolarizzato prima dell'applicazione ed eventuali spigoli devono essere smussati e arrotondati come previsto dal progetto Tav.4.1...4.5.
- La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle relative schede tecniche.

3. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI

Nel presente progetto di consolidamento statico delle volte non vengono contemplate le verifiche strutturali - geotecniche che **NON FORMANO OGGETTO DEL PRESENTE CALCOLO**.

4. RELAZIONE SUI MATERIALI

Nell'esecuzione delle opere in progetto è previsto l'impiego di materiali con le caratteristiche sotto descritte.

4.1 RETE IN CARBONIO IN MATRICE IDRAULICA - FRCM

Sistema di rinforzo a taglio e flessione delle strutture in muratura mediante compositi in natura fibrosa costituiti da reti in carbonio e malta idraulica pozzolanica speciale, del tipo, secondo le seguenti fasi e metodologie :

- pulire accuratamente il sottofondo eliminando tutte le parti incoerenti, polvere, concrezioni vegetali, ecc.;
- inumidire opportunamente il sottofondo e applicare con frettazzo metallico liscio la specifica malta idraulica pozzolanica per circa 3 mm.

La malta dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione: 38 N/mm^2
- resistenza a flessione: 7.5 N/mm^2
- modulo elastico a 28 giorni: 15000 MPa

Annegare in rapida successione una rete in carbonio con le seguenti caratteristiche:

- spessore per il calcolo della sezione di carbonio a 0° e 90° : 0.047 mm
- dimensioni maglia: $10 \times 10 \text{ mm}$
- peso: 168 g/m^2
- carico di rottura a 0° e a 90° : $> 160 \text{ kg/cm}$

La rete, da porre in opera secondo l'orientamento $0^\circ/90^\circ$, deve essere stesa con cura, esercitando una certa pressione al fine di permettere alla malta sottostante di penetrare attraverso la maglia. Nei punti di giunzione si prevede una sovrapposizione non inferiore a 25 cm. Applicare un secondo strato di circa 3 mm di malta idraulica pozzolanica opportunamente lisciata.

Il sistema costituisce un rinforzo continuo reversibile che assicura la traspirabilità alla struttura e deve, quindi, essere applicato sull'intera superficie, avendo cura di effettuare risvolti e connessioni in maniera opportuna.

La D.L. potrà richiedere, a sua discrezione, prove sui materiali e controllare qualità e rese. Potrà inoltre acquisire dalla Società Fornitrice del prodotto sia la certificazione di qualità ai

sensi della norma UNI EN ISO 9002:2000, sia la dichiarazione di conformità relativa alla partita di materiale consegnato, eventualmente sostituita da quanto dichiarato in catalogo; il tutto affinché l'opera finita sia realizzata a perfetta regola d'arte.

4.2 MALTA STRUTTURALE FIBRORINFORZATA

Malta premiscelata tixotropica ad alta resistenza e ritiro compensato con fibre di polivinilalcol (PVA), per il consolidamento statico di volte di qualsiasi tipo, mediante costruzione di cappa debolmente armata autoportante secondo le seguenti fasi e metodologia: previa pulizia, rimozione attenta e puntuale di materiale incoerente e/o di precedenti resti d'intonaco, da eseguirsi a mano o con mezzi meccanici e lavaggio delle superfici anche mediante l'ausilio di idropulitrice.

Formazione di una debole armatura sull'estradosso della volta con funzione di collegamento alle murature perimetrali da realizzare secondo le indicazioni della D.L.

Applicazione a spruzzo oppure a cazzuola di una prima mano di aggrappo, realizzato con un'apposita malta da rinzafo premiscelato a base di leganti idraulici ad alta pozzolanicità e a basso contenuto di sali solubili dichiarati, applicazione a spruzzo oppure a cazzuola di una malta premiscelata.

La malta dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione:
 - a 1 giorno 11.1 MPa
 - a 28 giorni 32.5 MPa
- resistenza a flessione-trazione:
 - a 1 giorno 2.1 MPa
 - a 28 giorni 8.2 MPa
- modulo elastico a 28 giorni: 150000 kg/cm²
- adesione per trazione diretta sul mattone: > 0.6 MPa (si rompe il supporto)
- ottima resistenza all'usura e ai carichi dinamici in generale;
- assenza di ritiro in fase plastica (UNI 8996);
- assenza di bleeding (UNI 8998);
- elevata impermeabilità all'acqua e alle soluzioni acquose aggressive;
- resistenza ai cicli di gelo e disgelo, anche alla presenza di sali disgelanti;
- resistenza all'attacco di agenti chimici quali cloruri, solfati, piogge acide, anidride carbonica.

Il prodotto, provvisto di marcatura CE, deve rispondere ai requisiti minimi prestazionali richiesti dalla Norma UNI EN 998-2. La malta dovrà inoltre essere caratterizzata da un basso contenuto di sali solubili (solfati, cloruri, nitriti/nitrati, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, Na⁺, K⁺) inferiore a 10 ppm dichiarati in scheda tecnica per evitare qualsiasi rischio d'aggressione alla muratura esistente e, in particolare, al gesso.

L'applicazione sarà eseguita in strati dello spessore massimo di 3 cm. Lo spessore della lastra da realizzare sarà stabilito dal progettista secondo criteri di calcolo statico.

La D.L. potrà richiedere, a sua discrezione, prove sui materiali e controllare qualità e rese. Potrà inoltre acquisire dalla Società Fornitrice del prodotto sia la certificazione di qualità ai sensi della norma UNI EN ISO 9002:2000, sia la dichiarazione di conformità relativa alla partita di materiale consegnato, eventualmente sostituita da quanto dichiarato in catalogo; il tutto affinché l'opera finita sia realizzata a perfetta regola d'arte.

4.3 ADESIVO SPECIALE IDRAULICO

Adesivo speciale idraulico premiscelato da inghisaggio ad alta tenuta, per gli ancoraggi in perfori eseguiti sugli elementi strutturali. Detta miscela sarà confezionata in conformità alle vigenti norme di legge con adesivo idraulico speciale premiscelato, avente le seguenti caratteristiche:

- elevate resistenze meccaniche a compressione;
- basso rapporto acqua/legante;
- assenza d'acqua essudata (misurata secondo ASTM C232);
- resistenza all'attacco di agenti chimici quali cloruri (Sali disgelanti, acqua di mare), solfati, piogge acide, anidride carbonica;
- assenza di fessurazione da ritiro;
- assenza di cloruri, particelle ferrose o altri agenti aggressivi.

La mata da iniezione dovrà essere compatibile con tutti i materiali lapidei, intonaci e malte d'allettamento e trovare particolare impiego per l'ancoraggio in strutture in muratura.

Introdurre nel mescolatore il quantitativo di acqua indicato nella tabella di confezionamento, quindi aggiungere il premiscelato in modo continuo fino a ottenere un impasto omogeneo (mescolare almeno 3 minuti). Procedere all'inghisaggio della barra.

Durante l'esecuzione del ripristino, la struttura non dovrà essere sottoposta a vibrazioni d'intensità tale da compromettere l'aderenza malta-supporto per almeno 12 ore, né si potranno applicare forti sollecitazioni (carichi) prima di 48 ore dall'intervento.

La D.L. potrà richiedere, a sua discrezione, prove sui materiali e controllare qualità e rese o dosaggi. Potrà inoltre acquisire dalla Società Fornitrice del prodotto sia la certificazione di qualità ai sensi della norma UNI EN ISO 9001:2000, sia la dichiarazione di conformità relativa alla partita di materiale consegnato, eventualmente sostituita da quanto dichiarato in catalogo; il tutto affinché l'opera finita sia realizzata a perfetta regola d'arte.

4.4 ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA ZINCATO

Barre in acciaio ad aderenza migliorata zincato del tipo B450C :

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 5400 \text{ Kg/cm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 4500 \text{ Kg/cm}^2$

Tensione di snervamento di calcolo: $f_{yd} = 3910 \text{ Kg/cm}^2$

Allungamento: $(A_{gt})_k = 7.5\%$

Rapporto f_{tk} / f_{yk} : $1.15 < f_{tk} / f_{yk} < 1.35$

Modulo elastico: $E_s = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$

In ogni caso tutti gli acciai devono possedere le caratteristiche di cui alle vigenti norme tecniche per le opere in c.a..

Non si devono porre in opera armature eccessivamente ossidate, corrosive, recanti difetti superficiali che ne pregiudichino la resistenza, o alterate da sostanze che possono ridurre sensibilmente l'aderenza al calcestruzzo (grassi, sostanze oleose, terra o fango).

I Progettisti