

COMUNE DI PALERMO
Settore Centro Storico



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.

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli



COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica

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.

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.	2
DATA	Giugno-12

ELABORATO

Relazione dei calcoli interventi strutturali:
Perforazioni armate e tiranti in carbonio

SCALA	



COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica

IL R.U.P.

I PROGETTISTI
Ing. Giuseppe Di Marzo

Visto il Parere Tecnico n. 18/2013/CS del 20/12/ 2013, si **valida il lotto C** del progetto esecutivo ai sensi dell'art. 26 del D. lgs. 50/2016 con contestuale atto n. 1798749/CS del 28/10/2016.

Ing. Tonino Martelli

Arch. Lorella Cacciatore

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

Visto:

Il Dirigente Servizio II OO.PP.

INDICE

1.1	INTERVENTI CON INSERIMENTO SISTEMI DI RINFORZO PUNTUALI	2
1.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
2.	INTERVENTI NEI TIMPANI	4
3.	INTERVENTI NEI PIEDRITTI	6
3.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLI DI CONOSCENZA	6
3.2	ANALISI DEI CARICHI	7
3.3	COMBINAZIONE DI CARICO	7
3.4	CALCOLO DEL TIRANTE	8
3.5	ANALISI DEI PIEDRITTI	11
3.5.1	VERIFICA PIEDRITTO VOLTA TIPO 1 – (INSERIMENTO CATENE)	11
3.5.2	VERIFICA PIEDRITTO VOLTA TIPO 2 - (SENZA INSERIMENTO CATENE)	16
3.5.3	VERIFICA PIEDRITTO VOLTA TIPO 3 – INSERIMENTO CATENE	19
4.	RELAZIONE SUI MATERIALI	24
4.1	ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA	24

1.1 INTERVENTI CON INSERIMENTO SISTEMI DI RINFORZO PUNTUALI

La presente relazione si riferisce a due degli interventi, previsti in progetto, per la navata centrale. Gli interventi riguardano l'inserimento di elementi di rinforzo per la stabilizzazione dei piedritti soggetti alle spinte di alcune delle volte oggetto di consolidamento statico con FRCM ed FRM e delle perforazioni armate con barre di carbonio per la realizzazione di un sistema di rinforzo a flessione ed a taglio per i timpani della navata centrale che risultano, per la mancanza delle coperture, liberi nel piano a loro trasversale.

In particolare, per i piedritti, si propone un sistema di incatenamento per la riduzione delle spinte esercitate dalle volte sui piedritti stessi, spinte che dalle verifiche effettuate non sono efficacemente contrastate dai piedritti stessi e necessitano di interventi integrativi per la loro stabilizzazione. Tale necessità scaturisce dalla rimozione del terrapieno esistente a ridosso della muratura perimetrale della navata destra di sostegno delle volte.

Sui piedritti interessati è stata condotta una analisi numerica che ha tenuto conto della spinta esercitata dalle volte da consolidare e delle caratteristiche meccaniche della muratura risultanti dalle analisi effettuate e che hanno indicato che, i piedritti delle volte TIPO 1 e TIPO 3, secondo la nomenclatura adottata nel seguito, hanno necessità di essere stabilizzati mediante installazione di opportune catene in grado di assorbire le spinte esercitate dalle volte soprastanti. I piedritti di sostegno delle volte TIPO 2 hanno una altezza inferiore e pari a circa 5,15 m e numericamente non risultano bisognosi di stabilizzazione tuttavia gli scriventi progettisti incaricati, valutate tutte le condizioni al contorno e lo stato di conservazione della parete che per alcuni secoli è stata a contatto con il terrapieno ritengono di consigliare l'opportunità di disporre comunque delle catene anche in corrispondenza delle volte di tipo 2 stante il fatto che le strutture murarie d'ambito si sono assestate su una situazione statica consolidatasi nel tempo che ora con l'asportazione del terrapieno verrebbe a mutare.

Per i timpani sono previsti due interventi; il primo di cucitura con gli elementi murari d'ambito ed il secondo che consiste nella realizzazione di un sistema di rinforzo a flessione e taglio costituito dall'inserimento ed il pretensionamento di elementi in carbonio. Sono stati previsti anche degli interventi secondari consistenti

in una serie di cuciture con barre di carbonio secondo gli schemi riportati nella Tav.5.2.1. del progetto esecutivo.

1.2 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 Tecnica 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)".

2. INTERVENTI NEI TIMPANI

La muratura è dotata di notevole resistenza a compressione mentre è trascurabile la sua resistenza a trazione. Pertanto, se i carichi sono verticali ed agenti nel piano medio della parete muraria, il comportamento della muratura è ottimo. Tuttavia oltre questi carichi, sulla muratura agiscono anche azioni orizzontali ortogonali al piano della parete, dovute al vento, al sisma oppure alla spinta del terreno, che generano sollecitazioni di taglio e flessione.

Se la struttura è costituita da pareti murarie distribuite in modo da creare un complesso scatolare, le azioni orizzontali, attraverso la monoliticità e rigidità estensionale dei solai, sono ripartite esclusivamente tra i setti murari che hanno l'asse forte" parallelo alla direzione delle forze. Le azioni ortogonali al piano delle pareti invece, agendo nella direzione dell'asse debole generano sollecitazioni di taglio e flessione molto più pericolose perché, come si è detto, agiscono nel piano di minima rigidità del setto murario.

Pertanto, se i carichi verticali sono modesti, le trazioni dovute alla flessione non possono essere compensate e, a causa della scarsa resistenza a trazione della muratura, i setti si fessurano.

In passato nelle strutture murarie si inserivano meccanismi differenti, quali tiranti in ferro e contrafforti murari al fine di evitare le tensioni di trazione. È abbastanza comune infatti osservare la rottura dei setti murari conseguente ad una ridistribuzione delle forze interne. La limitata resistenza a trazione è ancora più vincolante nelle strutture soggette a carichi dinamici, come quelli sismici o del vento, in quanto inducono sollecitazioni flessionali di segno alterno.

Le operazioni classiche per superare queste limitazioni di resistenza nei setti murari con carichi eccentrici sono quelle di rinforzare la muratura con barre in acciaio (murature armate) oggi sostituite dalle barre di acciaio inox o di materiali più leggeri e resistenti come l'aramide od il carbonio, di confinare i muri con travi tiranti in calcestruzzo cementizio o acciaio (muratura confinata). Queste tecniche sono molto spesso costose e causano interruzioni nell'isolamento acustico e termico.

Una tecnica emergente è invece quella di post-tensionare la muratura.

L'introduzione di una coazione nel piano verticale, attraverso la post-tensione, ossia l'aggiunta di opportuni carichi assiali, che aumentano lo stato tensionale di compressione delle sezioni del setto, mira ad incrementare il campo di resistenza della muratura stessa alle azioni flessionali in quanto lo stato di coazione è in grado di annullare le tensioni di trazione dovute alla flessione.

Con l'uso della post-tensione, quindi, non solo si migliora il comportamento delle nuove strutture, ma si fornisce una tecnica generale per il restauro degli edifici esistenti soggetti ad azioni orizzontali.

Questo intervento che prevede la realizzazione di perforazioni verticali in asse alla muratura, l'inserimento delle barre in carbonio della lunghezza di 4,00 m con interasse di 0,88 m, l'inghisaggio alla base della muratura per una lunghezza ottenuta dal calcolo a strappo rispetto alla resistenza della muratura a mezzo di legante compatibile tra carbonio e muratura eventualmente estesa, la precompressione delle barre a mezzo di martinetti idraulici per avere l'incremento della resistenza a taglio e flessione della muratura, il bloccaggio con apposite boccole tronco coniche in ottone o acciaio inox delle barre e la saturazione dei fori con legante come quello adoperato per l'inghisaggio è stato previsto nei timpani in bando della navata centrale.

Il calcolo è stato effettuato considerando che il materiale che si porta a rottura è il supporto ossia la calcarenite di cui sono composte le murature i cui valori di tensione tangenziale sono stati desunti dai dati della caratterizzazione effettuate sui campioni prelevati sui luoghi.

Il calcolo della lunghezza di aderenza delle barre di carbonio viene effettuato calcolando la lunghezza di aderenza per l'ancoraggio delle barre di carbonio che è data dalla formula:

$$\tau \cdot l \cdot 2\pi r = T \quad \text{dove} \quad (1)$$

τ è la tensione tangenziale della calcarenite;

l è la lunghezza di aderenza

r è il raggio del foro di carotaggio

T è lo sforzo di trazione applicato alla barra di carbonio

Dalla formula (1) ricaviamo la lunghezza di aderenza, che nel caso di foro di 45 mm, trazione $T = 1000 \text{ Kg}$ e $t = 1 \text{ Kg/cm}^2$ ricaviamo che tale valore è di 36 cm circa. Considerando un coefficiente di sicurezza pari a 3 otteniamo che $l = 108 \text{ cm}$.

Tali valori sperimentali andranno supportati dalle analisi effettuate sulla barra campione in fase di realizzazione, operando per step successivi e controllando il comportamento globale. Si porta all'attenzione che la tensione tangenziale è quella della muratura in quanto l'interfaccia, malta inorganica - carbonio ha un valore tale di aderenza che si ha la rottura del supporto prima degli altri collassi strutturali.

3. INTERVENTI NEI PIEDRITTI

Nel paragrafo seguente vengono condotte le verifiche di sicurezza sui piedritti delle volte di cui all'oggetto le quali sono state denominate con la stessa nomenclatura adottata nel "Progetto di rinforzo con FRCM ed FRM delle volte". Nello specifico le analisi condotte riguardano le volte denominate VOLTA TIPO 1, VOLTA TIPO 2 e VOLTA TIPO 3.

3.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLI DI CONOSCENZA

- *Materiali esistenti:*

Muratura a conci di pietra tenera (calcarenite):

$$f_m = 19.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 10800 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1600 \text{ Kg/m}^3.$$

- *Muratura in laterizio con malta scadente:*

$$f_m = 10.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 10000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1100 \text{ Kg/m}^3$$

Il Livello di Conoscenza è limitato (LC2) ,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:

- Acciaio da carpenteria metallica S275 – tutte le strutture metalliche devono essere zincate:

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

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

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

3.2 ANALISI DEI CARICHI

I carichi agenti allo stato attuale sulle volte oggetto di rinforzo, e di seguito riportati, sono stati desunti effettuando un'apposita analisi che ha fornito i seguenti dati:

VOLTA TIPO 1 + VOLTA TIPO 3

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in calcarenite) = 1600 kg/m^3
- Controvolta in PVA-TX ($s = 2 \text{ cm}$) = 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

VOLTA TIPO 2

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in laterizio) = 1100 kg/m^3
- Controvolta in PVA-TX ($s = 2 \text{ cm}$) = 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

3.3 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;

$$\gamma_{g1} = 1.3;$$

$$\gamma_{g2} = 1.3 \div 1.5;$$

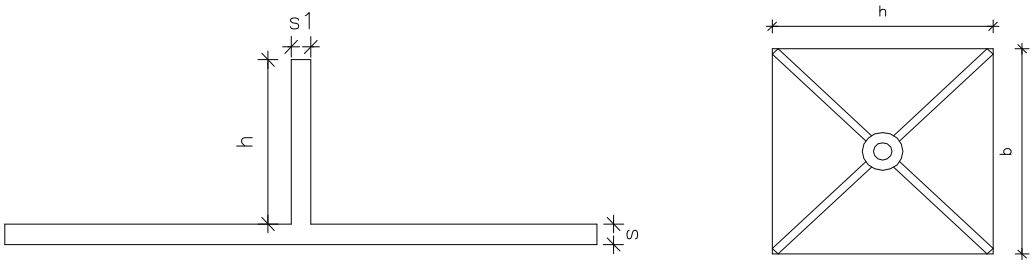
$$\gamma_{q1} = 1.5;$$

3.4 CALCOLO DEL TIRANTE

L'azione di sforzo nel tirante viene determinata in funzione del minimo valore che risulta dall'analisi del meccanismo di rottura relativo allo snervamento del tirante stesso, o dall'analisi del meccanismo di rottura relativo al punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio oppure dal meccanismo di rottura relativo alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccesso di pressione di contatto.

Nel caso di fattispecie è stata utilizzata una catena in acciaio tipo S275 di diametro pari a mm 27 ancorata mediante una piastra incassata nelle murature di facciata le quali hanno uno spessore minimo che varia da 110 a 80 cm, come quella riportata nella figura che segue. Anche l'ancoraggio delle catene sulle murature interne viene realizzato mediante una piastra incassata nella muratura con le dimensioni pari a quelle riportate nella figura che segue. Le verifiche sono state condotte considerando le murature con spessore inferiore e non considerando che la muratura viene consolidata localmente per l'inserimento della piastra incassata nella muratura.

Le sollecitazioni di taglio e flessione nella piastra sono dovute alle tensioni di contatto agenti sulla piastra. Si conduce la verifica della sezione di incastro della piastra adottando uno schema statico costituito da una mensola incastrata all'estremità di luce pari a 20 cm.

			
Calcolo tiro massimo della catena			
T_1	60.1	KN	Tiro massimo della catena
T_2	112.0	KN	Tiro massimo per punzomaneto della muratura
T_3	126.7	KN	Tiro massimo per resistenza a compressione muratura
VERIFICA DELLA PIASTRA			
W	56920.1	mm ³	Modulo di resistenza della sezione inflessa della piastra
A	1500.0	mm ²	Area resistente a taglio della piastra - solo nervature
M_{Ed}	11.3	KNm	Momento massimo sulla piastra
T_{Ed}	30.1	KN	Taglio massimo sulla piastra
M_{Rd}	14.9	KNm	Momento massimo resistente della piastra
T_{Rd}	226.8	KN	Taglio massimo resistente della piastra
VERIFICA 1 - LA VERIIFCA A FLESSIONE DELLA PIASTRA E' SODDISFATTA			
VERIFICA 2 - LA VERIIFCA A TAGLIO DELLA PIASTRA E' SODDISFATTA			
NOTA: Si trascura l'influenza del taglio sulla resistnza a flessione [NTC 2008 - § 4.2.4.1.2]			

Come espressamente prescritto negli elaborati grafici le catene devono essere collocate in opera dopo aver puntellato le volte. In questo modo si realizza un sistema attivo capace di assorbire fin da subito la spinta delle volte di cui all'oggetto con conseguente stabilizzazione dei piedritti. Come descritto nei paragrafi che seguono il modello di calcolo adottato per schematizzare e condurre le verifiche di sicurezza sui piedritti ha una profondità unitaria ($L=1\text{ m}$), per tale ragione l'azione del tirante deve essere divisa per la sua area di influenza la quale risulta essere differente caso per caso. Le analisi condotte mostrano la necessità delle catene per stabilizzare i piedritti delle volte denominata VOLTA TIPO 1 e VOLTA TIPO 3. Mentre per la volta denominata VOLTA TIPO 2 non risulta necessario alcun intervento.

3.5 ANALISI DEI PIEDRITTI

3.5.1 Verifica PIEDRITTO VOLTA TIPO I – (inserimento catene)

La VOLTA TIPO I è stata indicata negli elaborati grafici di progetto relativi al “Progetto di rinforzo con FRCM ed FRM delle volte”. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1\text{ m}$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

Carico strutturale (p. proprio muratura volta in calcarenite)	= 1 600 kg/m ³
- Controvolta in PVA-TX ($s = 2\text{ cm}$)	= 1 900 kg/m ³
- Carico permanente intonaco di cocciopesto	= 90 kg/m ²
- Carico accidentale	= 200 kg/m ²
- Carico neve	= 48 kg/m ²

L'intervento di stabilizzazione dei piedritti prevede l'inserimento di due catene poste alla quota di circa cm 690 dal piano di calpestio. Poiché la volta a botte ha una estensione di circa cm 505, ogni tirante deve contrastare una azione pari alla spinta derivante dal modello di calcolo per metà della lunghezza della volta.

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_1]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

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

- DATI ARCHI IDEALI

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

- ARCO

> Dati in input:
Freccia.....(cm) = 153
Corda.....(cm) = 500
Spessore.....(cm) = 27
>>> Altri parametri:
Angolo imposta $a^\circ, sx...$ ($^\circ$) = 152.9
 $a^\circ, dx...$ ($^\circ$) = 27.1
Raggio Intradosso $R,i..$ (cm) = 281
Raggio Estradosso $R,e..$ (cm) = 308
Angolo di apertura $\phi i..$ ($^\circ$) = 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/m^3) =900
> Sottofondo:
Spessore.....(cm) = 5
Peso specifico....(kgf/m^3) =1800
```

- MURATURA VOLTA

```
Tipologia: Blocchi di tufo di buona qualita'
Resistenza caratteristica a Compressione f,k (kgf/cm^2) =19
Resistenza a compressione di progetto: f,d = (1/1.2) f,k
Peso Specifico equivalente .....(kgf/m^3) =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/cm^2) =19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico equivalente.....(kgf/m^3) =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/cm^2) =19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico.....(kgf/m^3) =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/m^2 - kN/m^2),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/m^2 - kN/m^2),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/m^2 - kN/m^2),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/m^2 - kN/m^2),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
***

Azione catena
***
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)
0,0,0,0,0
***
ALTRI CARICHI
Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m^2 - kN/m^2),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
1,-1,2380,0,0,0,5,-1,0,0
2,0,2380,0,0,0,5,-1,0,0
***

```

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

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

RISULTATI ANALISI

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

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

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

Verifica Tirante: Spinta 2174x2.525 = 5489 Kg < 6010 Kg = Tiro catena

- Piedritto Sinistro

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta
Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

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

N°Sez	Quota (cm)	Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens,Mur (kgf/cm ²)
1	0.0	2990	-2174	1395.74	46.7	0.23
2	10.0	3198	206	1297.34	40.6	0.25
3	20.0	3406	206	1317.94	38.7	0.26
4	30.0	3614	206	1338.54	37.0	0.28
5	40.0	3822	206	1359.14	35.6	0.29
6	50.0	4030	206	1379.74	34.2	0.31
7	60.0	4238	206	1400.34	33.0	0.33
8	70.0	4446	206	1420.94	32.0	0.34
9	80.0	4654	206	1441.54	31.0	0.36
10	90.0	4862	206	1462.14	30.1	0.37
11	100.0	5070	206	1482.74	29.2	0.39
12	110.0	5278	206	1503.34	28.5	0.41
13	120.0	5486	206	1523.94	27.8	0.42
14	130.0	5694	206	1544.54	27.1	0.44
15	140.0	5902	206	1565.14	26.5	0.45
16	150.0	6110	206	1585.74	26.0	0.47
17	160.0	6318	206	1606.34	25.4	0.49
18	170.0	6526	206	1626.94	24.9	0.50
19	180.0	6734	206	1647.54	24.5	0.52
20	190.0	6942	206	1668.14	24.0	0.53
21	200.0	7150	206	1688.74	23.6	0.55
22	210.0	7358	206	1709.34	23.2	0.57
23	220.0	7566	206	1729.94	22.9	0.58
24	230.0	7774	206	1750.54	22.5	0.60
25	240.0	7982	206	1771.14	22.2	0.61
26	250.0	8190	206	1791.74	21.9	0.63
27	260.0	8398	206	1812.34	21.6	0.65
28	270.0	8606	206	1832.94	21.3	0.66
29	280.0	8814	206	1853.54	21.0	0.68
30	290.0	9022	206	1874.14	20.8	0.69
31	300.0	9230	206	1894.74	20.5	0.71
32	310.0	9438	206	1915.34	20.3	0.73
33	320.0	9646	206	1935.94	20.1	0.74
34	330.0	9854	206	1956.54	19.9	0.76
35	340.0	10062	206	1977.14	19.6	0.77
36	350.0	10270	206	1997.74	19.5	0.79
37	360.0	10478	206	2018.34	19.3	0.81
38	370.0	10686	206	2038.94	19.1	0.82
39	380.0	10894	206	2059.54	18.9	0.84
40	390.0	11102	206	2080.14	18.7	0.85
41	400.0	11310	206	2100.74	18.6	0.87
42	410.0	11518	206	2121.34	18.4	0.89
43	420.0	11726	206	2141.94	18.3	0.90
44	430.0	11934	206	2162.54	18.1	0.92
45	440.0	12142	206	2183.14	18.0	0.93
46	450.0	12350	206	2203.74	17.8	0.95
47	460.0	12558	206	2224.34	17.7	0.97
48	470.0	12766	206	2244.94	17.6	0.98
49	480.0	12974	206	2265.54	17.5	1.00
50	490.0	13182	206	2286.14	17.3	1.01
51	500.0	13390	206	2306.74	17.2	1.03
52	510.0	13598	206	2327.34	17.1	1.05
53	520.0	13806	206	2347.94	17.0	1.06
54	530.0	14014	206	2368.54	16.9	1.08
55	540.0	14222	206	2389.14	16.8	1.09
56	550.0	14430	206	2409.74	16.7	1.11
57	560.0	14638	206	2430.34	16.6	1.13
58	570.0	14846	206	2450.94	16.5	1.14
59	580.0	15054	206	2471.54	16.4	1.16
60	590.0	15262	206	2492.14	16.3	1.17
61	600.0	15470	206	2512.74	16.2	1.19
62	610.0	15678	206	2533.34	16.2	1.21
63	620.0	15886	206	2553.94	16.1	1.22
64	630.0	16094	206	2574.54	16.0	1.24
65	640.0	16302	206	2595.14	15.9	1.25
66	650.0	16510	206	2615.74	15.8	1.27
67	660.0	16718	206	2636.34	15.8	1.29
68	670.0	16926	206	2656.94	15.7	1.30
69	680.0	17134	206	2677.54	15.6	1.32
70	690.0	17342	206	2698.14	15.6	1.33
71	695.0	17446	206	2708.44	15.5	1.34

Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm ²)	Tens.max.
18486	206	2811.44	15.2	1.42	2.42

- Piedritto Destro

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta

Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

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

N°Sez	Quota (cm)	Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens,Mur (kgf/cm ²)
1	0.0	2989	-2174	1017.94	34.1	0.28
2	10.0	3157	206	919.54	29.1	0.30
3	20.0	3325	206	940.14	28.3	0.32
4	30.0	3493	206	960.74	27.5	0.33
5	40.0	3661	206	981.34	26.8	0.35
6	50.0	3829	206	1001.94	26.2	0.36
7	60.0	3997	206	1022.54	25.6	0.38
8	70.0	4165	206	1043.14	25.0	0.40
9	80.0	4333	206	1063.74	24.5	0.41
10	90.0	4501	206	1084.34	24.1	0.43
11	100.0	4669	206	1104.94	23.7	0.44
12	110.0	4837	206	1125.54	23.3	0.46
13	120.0	5005	206	1146.14	22.9	0.48
14	130.0	5173	206	1166.74	22.6	0.49
15	140.0	5341	206	1187.34	22.2	0.51
16	150.0	5509	206	1207.94	21.9	0.52
17	160.0	5677	206	1228.54	21.6	0.54
18	170.0	5845	206	1249.14	21.4	0.56
19	180.0	6013	206	1269.74	21.1	0.57
20	190.0	6181	206	1290.34	20.9	0.59
21	200.0	6349	206	1310.94	20.6	0.60
22	210.0	6517	206	1331.54	20.4	0.62
23	220.0	6685	206	1352.14	20.2	0.64
24	230.0	6853	206	1372.74	20.0	0.65
25	240.0	7021	206	1393.34	19.8	0.67
26	250.0	7189	206	1413.94	19.7	0.68
27	260.0	7357	206	1434.54	19.5	0.70
28	270.0	7525	206	1455.14	19.3	0.72
29	280.0	7693	206	1475.74	19.2	0.73
30	290.0	7861	206	1496.34	19.0	0.75
31	300.0	8029	206	1516.94	18.9	0.76
32	310.0	8197	206	1537.54	18.8	0.78
33	320.0	8365	206	1558.14	18.6	0.80
34	330.0	8533	206	1578.74	18.5	0.81
35	340.0	8701	206	1599.34	18.4	0.83
36	350.0	8869	206	1619.94	18.3	0.84
37	360.0	9037	206	1640.54	18.2	0.86
38	370.0	9205	206	1661.14	18.0	0.88
39	380.0	9373	206	1681.74	17.9	0.89
40	390.0	9541	206	1702.34	17.8	0.91
41	400.0	9709	206	1722.94	17.7	0.92
42	410.0	9877	206	1743.54	17.7	0.94
43	420.0	10045	206	1764.14	17.6	0.96
44	430.0	10213	206	1784.74	17.5	0.97
45	440.0	10381	206	1805.34	17.4	0.99
46	450.0	10549	206	1825.94	17.3	1.00
47	460.0	10717	206	1846.54	17.2	1.02
48	470.0	10885	206	1867.14	17.2	1.04
49	480.0	11053	206	1887.74	17.1	1.05
50	490.0	11221	206	1908.34	17.0	1.07
51	500.0	11389	206	1928.94	16.9	1.08
52	510.0	11557	206	1949.54	16.9	1.10
53	520.0	11725	206	1970.14	16.8	1.12
54	530.0	11893	206	1990.74	16.7	1.13
55	540.0	12061	206	2011.34	16.7	1.15
56	550.0	12229	206	2031.94	16.6	1.16
57	560.0	12397	206	2052.54	16.6	1.18
58	570.0	12565	206	2073.14	16.5	1.20
59	580.0	12733	206	2093.74	16.4	1.21
60	590.0	12901	206	2114.34	16.4	1.23
61	600.0	13069	206	2134.94	16.3	1.24
62	610.0	13237	206	2155.54	16.3	1.26
63	620.0	13405	206	2176.14	16.2	1.28
64	630.0	13573	206	2196.74	16.2	1.29
65	640.0	13741	206	2217.34	16.1	1.31
66	650.0	13909	206	2237.94	16.1	1.32
67	660.0	14077	206	2258.54	16.0	1.34
68	670.0	14245	206	2279.14	16.0	1.36
69	680.0	14413	206	2299.74	16.0	1.37
70	690.0	14581	206	2320.34	15.9	1.39
71	695.0	14665	206	2330.64	15.9	1.40
Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm ²)	Tens.max. (kgf/cm ²)	
15505	206	2433.64	15.7	1.48	2.80	

3.5.2 Verifica PIEDRITTO VOLTA TIPO 2 - (senza inserimento catene)

La VOLTA TIPO 2 hanno stessa geometria e sono state indicate negli elaborati grafici di progetto relativi al “Progetto di rinforzo con FRCM ed FRM delle volte”. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1\text{ m}$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

- Carico strutturale (peso proprio muratura volta in laterizio) = 1100 kg/m^3
- Controvolta in PVA-TX ($s = 2\text{ cm}$) = 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

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

- ARCO

> Dati in input:
Freccia.....(cm) = 352
Corda.....(cm) = 509
Angolo imposta a°, s_x($^\circ$) = 180.0
 a°, d_x($^\circ$) = 0.0
Spessore.....(cm) = 22
>>> Altri parametri:
Altezza imposta H, i, s_x (cm) = 0
 H, i, d_x (cm) = 0
Raggio Intradosso R, i ..(cm) = 371
Raggio Estradosso R, e ..(cm) = 393
Angolo in chiave ϕ($^\circ$) = 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. d_x ..(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

RISULTATI ANALISI

ARCO n. 1

- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (1)

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

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

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta

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]

N°Sez	Quota	Sf.Norm.	Taglio	Momento	Ecc.	Tens,Mur
	(cm)	(kgf)		(kgf*m)	(cm)	(kgf/cm ²)
1	0.0	3374	-1149	1383.34	41.0	1.02
2	10.0	3576	-1149	1268.44	35.5	0.87
3	20.0	3777	-1149	1153.54	30.5	0.78
4	30.0	3979	-1149	1038.64	26.1	0.72
5	40.0	4180	-1149	923.74	22.1	0.68
6	50.0	4382	-1149	808.84	18.5	0.65
7	60.0	4584	-1149	693.94	15.1	0.63
8	70.0	4785	-1149	579.04	12.1	0.60
9	80.0	4987	-1149	464.14	9.3	0.57
10	90.0	5188	-1149	349.24	6.7	0.54
11	100.0	5390	-1149	234.34	4.3	0.52
12	110.0	5592	-1149	119.44	2.1	0.49
13	120.0	5793	-1149	4.54	0.1	0.46
14	130.0	5995	-1149	-110.36	-1.8	0.52
15	140.0	6196	-1149	-225.26	-3.6	0.58
16	150.0	6398	-1149	-340.16	-5.3	0.64
17	160.0	6600	-1149	-455.06	-6.9	0.70
18	170.0	6801	-1149	-569.96	-8.4	0.76
19	180.0	7003	-1149	-684.86	-9.8	0.81
20	190.0	7204	-1149	-799.76	-11.1	0.87
21	200.0	7406	-1149	-914.66	-12.4	0.93
22	210.0	7608	-1149	-1029.56	-13.5	0.99
23	220.0	7809	-1149	-1144.46	-14.7	1.05
24	230.0	8011	-1149	-1259.36	-15.7	1.11
25	240.0	8212	-1149	-1374.26	-16.7	1.17
26	250.0	8414	-1149	-1489.16	-17.7	1.23
27	260.0	8616	-1149	-1604.06	-18.6	1.29
28	270.0	8817	-1149	-1718.96	-19.5	1.35
29	280.0	9019	-1149	-1833.86	-20.3	1.41
30	290.0	9220	-1149	-1948.76	-21.1	1.47
31	300.0	9422	-1149	-2063.66	-21.9	1.53
32	310.0	9624	-1149	-2178.56	-22.6	1.59

33	320.0	9825	-1149	-2293.46	-23.3	1.65
34	330.0	10027	-1149	-2408.36	-24.0	1.71
35	340.0	10228	-1149	-2523.26	-24.7	1.78
36	350.0	10430	-1149	-2638.16	-25.3	1.84
37	360.0	10632	-1149	-2753.06	-25.9	1.91
38	370.0	10833	-1149	-2867.96	-26.5	1.98
39	380.0	11035	-1149	-2982.86	-27.0	2.05
40	390.0	11236	-1149	-3097.76	-27.6	2.11
41	400.0	11438	-1149	-3212.66	-28.1	2.18
42	410.0	11640	-1149	-3327.56	-28.6	2.25
43	420.0	11841	-1149	-3442.46	-29.1	2.33
44	430.0	12043	-1149	-3557.36	-29.5	2.40
45	440.0	12244	-1149	-3672.26	-30.0	2.47
46	450.0	12446	-1149	-3787.16	-30.4	2.55
47	460.0	12648	-1149	-3902.06	-30.9	2.62
48	470.0	12849	-1149	-4016.96	-31.3	2.70
49	480.0	13051	-1149	-4131.86	-31.7	2.78
50	490.0	13252	-1149	-4246.76	-32.0	2.85
51	500.0	13454	-1149	-4361.66	-32.4	2.93
52	510.0	13656	-1149	-4476.56	-32.8	3.01
53	515.0	13756	-1149	-4534.01	-33.0	3.05

Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm^2)	Tens.max. (kgf/cm^2)
14764	-1149	-5108.51	34.6	1.17	3.47

- Piedritto Destro

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta

Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

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

N°Sez	Quota (cm)	Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens,Mur (kgf/cm^2)
1	0.0	3374	-1149	978.46	29.0	1.02
2	10.0	3537	-1149	863.56	24.4	0.89
3	20.0	3700	-1149	748.66	20.2	0.80
4	30.0	3864	-1149	633.76	16.4	0.74
5	40.0	4027	-1149	518.86	12.9	0.69
6	50.0	4190	-1149	403.96	9.6	0.64
7	60.0	4353	-1149	289.06	6.6	0.59
8	70.0	4516	-1149	174.16	3.9	0.54
9	80.0	4680	-1149	59.26	1.3	0.49
10	90.0	4843	-1149	-55.64	-1.1	0.51
11	100.0	5006	-1149	-170.54	-3.4	0.59
12	110.0	5169	-1149	-285.44	-5.5	0.67
13	120.0	5332	-1149	-400.34	-7.5	0.75
14	130.0	5496	-1149	-515.24	-9.4	0.84
15	140.0	5659	-1149	-630.14	-11.1	0.92
16	150.0	5822	-1149	-745.04	-12.8	1.00
17	160.0	5985	-1149	-859.94	-14.4	1.08
18	170.0	6148	-1149	-974.84	-15.9	1.16
19	180.0	6312	-1149	-1089.74	-17.3	1.25
20	190.0	6475	-1149	-1204.64	-18.6	1.33
21	200.0	6638	-1149	-1319.54	-19.9	1.42
22	210.0	6801	-1149	-1434.44	-21.1	1.52
23	220.0	6964	-1149	-1549.34	-22.2	1.61
24	230.0	7128	-1149	-1664.24	-23.3	1.72
25	240.0	7291	-1149	-1779.14	-24.4	1.83
26	250.0	7454	-1149	-1894.04	-25.4	1.94
27	260.0	7617	-1149	-2008.94	-26.4	2.06
28	270.0	7780	-1149	-2123.84	-27.3	2.19
29	280.0	7944	-1149	-2238.74	-28.2	2.32
30	290.0	8107	-1149	-2353.64	-29.0	2.46
31	300.0	8270	-1149	-2468.54	-29.8	2.61
32	310.0	8433	-1149	-2583.44	-30.6	2.76
33	320.0	8596	-1149	-2698.34	-31.4	2.92
34	330.0	8760	-1149	-2813.24	-32.1	3.09
35	340.0	8923	-1149	-2928.14	-32.8	3.27
36	350.0	9086	-1149	-3043.04	-33.5	3.46
37	360.0	9249	-1149	-3157.94	-34.1	3.66
38	370.0	9412	-1149	-3272.84	-34.8	3.87
39	380.0	9576	-1149	-3387.74	-35.4	4.09
40	390.0	9739	-1149	-3502.64	-36.0	4.32
41	400.0	9902	-1149	-3617.54	-36.5	4.56
42	410.0	10065	-1149	-3732.44	-37.1	4.82
43	420.0	10228	-1149	-3847.34	-37.6	5.09
44	430.0	10392	-1149	-3962.24	-38.1	5.38
45	440.0	10555	-1149	-4077.14	-38.6	5.69
46	450.0	10718	-1149	-4192.04	-39.1	6.01
47	460.0	10881	-1149	-4306.94	-39.6	6.35
48	470.0	11044	-1149	-4421.84	-40.0	6.72
49	480.0	11208	-1149	-4536.74	-40.5	7.10

50	490.0	11371	-1149	-4651.64	-40.9	7.51
51	500.0	11534	-1149	-4766.54	-41.3	7.95
52	510.0	11697	-1149	-4881.44	-41.7	8.41
53	515.0	11779	-1149	-4938.89	-41.9	8.66

Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm ²)	Tens.max. (kgf/cm ²)
12595	-1149	-5513.39	43.8	1.23	11.62

3.5.3 Verifica PIEDRITTO VOLTA TIPO 3 – Inserimento catene

La VOLTA TIPO 3 è stata indicata negli elaborati grafici di progetto di progetto relativi al “Progetto di rinforzo con FRCM ed FRM delle volte”. La volta è stata analizzata modellando un arco di profondità unitaria ($L=1\text{ m}$). I carichi agenti sulla volta sono di seguito riportati:

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

L'intervento di stabilizzazione dei piedritti prevede l'inserimento di due catene poste alla quota di circa cm 690 dal piano di calpestio. Poiché la volta a botte ha una estensione di circa cm 505, ogni tirante deve contrastare una azione pari alla spinta derivante dal modello di calcolo per metà della lunghezza della volta.

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_3]

DATI STRUTTURA

- VOLTA

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

- DATI ARCHI IDEALI

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

- ARCO

> Dati in input:
 Freccia.....(cm) = 153
 Corda.....(cm) = 493
 Spessore.....(cm) = 27
 >>> Altri parametri:
 Angolo imposta a°, s_x ...($^\circ$) = 153.7
 a°, d_x ...($^\circ$) = 26.3
 Raggio Intradosso R, i ..(cm) = 275
 Raggio Estradosso R, e ..(cm) = 302
 Angolo di apertura ϕ ...($^\circ$) = 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/m^3) =900
> Sottofondo:
Spessore.....(cm) = 5
Peso specifico....(kgf/m^3) =1800
```

- MURATURA VOLTA

```
Tipologia: 4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
Resistenza media a Compressione f,m (kgf/cm^2) =19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico equivalente.....(kgf/m^3) =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/cm^2) =19
Resistenza a Compressione di progetto: f,d = (1/1.20) f,m
Peso Specifico.....(kgf/m^3) =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/cm^2) = 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/m^2 - kN/m^2),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/m^2 - kN/m^2),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/m^2 - kN/m^2),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, Sottot, Pavimentazione(-1 = sì, 0 = no)
0,0,0,0,0
***
ALTRI CARICHI
Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m^2 - kN/m^2),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
***

Azione catena
***
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)
0,0,0,0,0
***
ALTRI CARICHI
Di superficie: DimX,DimY,X,Y(cm),q(kgf/m^2 - kN/m^2),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
1,-1,2380,0,0,0,5,-1,0,0
2,0,2380,0,0,0,5,-1,0,0
***

```

CARICHI: Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari

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

RISULTATI ANALISI

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

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

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

Verifica Tirante: Spinta 2125x2.525 = 5363 Kg < 6010 Kg = Tiro catena

- Piedritto Sinistro

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta

Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

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

N°Sez	Quota (cm)	Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens,Mur (kgf/cm ²)
1	0.0	2970	-2125	1434.80	48.3	0.22
2	10.0	3184	255	1341.30	42.1	0.24
3	20.0	3399	255	1366.80	40.2	0.25
4	30.0	3613	255	1392.30	38.5	0.27
5	40.0	3828	255	1417.80	37.0	0.29
6	50.0	4042	255	1443.30	35.7	0.30
7	60.0	4256	255	1468.80	34.5	0.32
8	70.0	4471	255	1494.30	33.4	0.33
9	80.0	4685	255	1519.80	32.4	0.35
10	90.0	4900	255	1545.30	31.5	0.37
11	100.0	5114	255	1570.80	30.7	0.38
12	110.0	5328	255	1596.30	30.0	0.40
13	120.0	5543	255	1621.80	29.3	0.41
14	130.0	5757	255	1647.30	28.6	0.43
15	140.0	5972	255	1672.80	28.0	0.45
16	150.0	6186	255	1698.30	27.5	0.46
17	160.0	6400	255	1723.80	26.9	0.48
18	170.0	6615	255	1749.30	26.4	0.49
19	180.0	6829	255	1774.80	26.0	0.51
20	190.0	7044	255	1800.30	25.6	0.53
21	200.0	7258	255	1825.80	25.2	0.54
22	210.0	7472	255	1851.30	24.8	0.56
23	220.0	7687	255	1876.80	24.4	0.57
24	230.0	7901	255	1902.30	24.1	0.59
25	240.0	8116	255	1927.80	23.8	0.61
26	250.0	8330	255	1953.30	23.4	0.62
27	260.0	8544	255	1978.80	23.2	0.64
28	270.0	8759	255	2004.30	22.9	0.65
29	280.0	8973	255	2029.80	22.6	0.67
30	290.0	9188	255	2055.30	22.4	0.69
31	300.0	9402	255	2080.80	22.1	0.70
32	310.0	9616	255	2106.30	21.9	0.72
33	320.0	9831	255	2131.80	21.7	0.73
34	330.0	10045	255	2157.30	21.5	0.75
35	340.0	10260	255	2182.80	21.3	0.77
36	350.0	10474	255	2208.30	21.1	0.78
37	360.0	10688	255	2233.80	20.9	0.80
38	370.0	10903	255	2259.30	20.7	0.81
39	380.0	11117	255	2284.80	20.6	0.83
40	390.0	11332	255	2310.30	20.4	0.85
41	400.0	11546	255	2335.80	20.2	0.86
42	410.0	11760	255	2361.30	20.1	0.88
43	420.0	11975	255	2386.80	19.9	0.89
44	430.0	12189	255	2412.30	19.8	0.91
45	440.0	12404	255	2437.80	19.7	0.93
46	450.0	12618	255	2463.30	19.5	0.94
47	460.0	12832	255	2488.80	19.4	0.96
48	470.0	13047	255	2514.30	19.3	0.97
49	480.0	13261	255	2539.80	19.2	0.99
50	490.0	13476	255	2565.30	19.0	1.01
51	500.0	13690	255	2590.80	18.9	1.02
52	510.0	13904	255	2616.30	18.8	1.04
53	520.0	14119	255	2641.80	18.7	1.05
54	530.0	14333	255	2667.30	18.6	1.07
55	540.0	14548	255	2692.80	18.5	1.09
56	550.0	14762	255	2718.30	18.4	1.10
57	560.0	14976	255	2743.80	18.3	1.12
58	570.0	15191	255	2769.30	18.2	1.13
59	580.0	15405	255	2794.80	18.1	1.15
60	590.0	15620	255	2820.30	18.1	1.17
61	600.0	15834	255	2845.80	18.0	1.18
62	610.0	16048	255	2871.30	17.9	1.20
63	620.0	16263	255	2896.80	17.8	1.21
64	630.0	16477	255	2922.30	17.7	1.23
65	640.0	16692	255	2947.80	17.7	1.25
66	650.0	16906	255	2973.30	17.6	1.26
67	660.0	17120	255	2998.80	17.5	1.28
68	670.0	17335	255	3024.30	17.4	1.29
69	680.0	17549	255	3049.80	17.4	1.31
70	690.0	17764	255	3075.30	17.3	1.33
71	695.0	17871	255	3088.05	17.3	1.33

Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm ²)	Tens.max.
18943	255	3215.55	17.0	1.41	2.49

- Piedritto Destro

Verifica Soddisfatta

Verifica di Stabilità (Equilibrio del piedritto) Soddisfatta

Verifica a Compressione della muratura Soddisfatta

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

N°Sez	Quota (cm)	Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens,Mur (kgf/cm ²)
1	0.0	2970	-2125	959.60	32.3	0.29
2	10.0	3133	255	866.10	27.6	0.31
3	20.0	3296	255	891.60	27.0	0.32
4	30.0	3460	255	917.10	26.5	0.34
5	40.0	3623	255	942.60	26.0	0.36
6	50.0	3786	255	968.10	25.6	0.37
7	60.0	3949	255	993.60	25.2	0.39
8	70.0	4112	255	1019.10	24.8	0.40
9	80.0	4276	255	1044.60	24.4	0.42
10	90.0	4439	255	1070.10	24.1	0.44
11	100.0	4602	255	1095.60	23.8	0.45
12	110.0	4765	255	1121.10	23.5	0.47
13	120.0	4928	255	1146.60	23.3	0.48
14	130.0	5092	255	1172.10	23.0	0.50
15	140.0	5255	255	1197.60	22.8	0.52
16	150.0	5418	255	1223.10	22.6	0.53
17	160.0	5581	255	1248.60	22.4	0.55
18	170.0	5744	255	1274.10	22.2	0.56
19	180.0	5908	255	1299.60	22.0	0.58
20	190.0	6071	255	1325.10	21.8	0.60
21	200.0	6234	255	1350.60	21.7	0.61
22	210.0	6397	255	1376.10	21.5	0.63
23	220.0	6560	255	1401.60	21.4	0.64
24	230.0	6724	255	1427.10	21.2	0.66
25	240.0	6887	255	1452.60	21.1	0.68
26	250.0	7050	255	1478.10	21.0	0.69
27	260.0	7213	255	1503.60	20.8	0.71
28	270.0	7376	255	1529.10	20.7	0.72
29	280.0	7540	255	1554.60	20.6	0.74
30	290.0	7703	255	1580.10	20.5	0.76
31	300.0	7866	255	1605.60	20.4	0.77
32	310.0	8029	255	1631.10	20.3	0.79
33	320.0	8192	255	1656.60	20.2	0.80
34	330.0	8356	255	1682.10	20.1	0.82
35	340.0	8519	255	1707.60	20.0	0.84
36	350.0	8682	255	1733.10	20.0	0.85
37	360.0	8845	255	1758.60	19.9	0.87
38	370.0	9008	255	1784.10	19.8	0.88
39	380.0	9172	255	1809.60	19.7	0.90
40	390.0	9335	255	1835.10	19.7	0.92
41	400.0	9498	255	1860.60	19.6	0.93
42	410.0	9661	255	1886.10	19.5	0.95
43	420.0	9824	255	1911.60	19.5	0.96
44	430.0	9988	255	1937.10	19.4	0.98
45	440.0	10151	255	1962.60	19.3	1.00
46	450.0	10314	255	1988.10	19.3	1.01
47	460.0	10477	255	2013.60	19.2	1.03
48	470.0	10640	255	2039.10	19.2	1.04
49	480.0	10804	255	2064.60	19.1	1.06
50	490.0	10967	255	2090.10	19.1	1.08
51	500.0	11130	255	2115.60	19.0	1.09
52	510.0	11293	255	2141.10	19.0	1.11
53	520.0	11456	255	2166.60	18.9	1.12
54	530.0	11620	255	2192.10	18.9	1.14
55	540.0	11783	255	2217.60	18.8	1.16
56	550.0	11946	255	2243.10	18.8	1.17
57	560.0	12109	255	2268.60	18.7	1.19
58	570.0	12272	255	2294.10	18.7	1.20
59	580.0	12436	255	2319.60	18.7	1.22
60	590.0	12599	255	2345.10	18.6	1.24
61	600.0	12762	255	2370.60	18.6	1.25
62	610.0	12925	255	2396.10	18.5	1.27
63	620.0	13088	255	2421.60	18.5	1.28
64	630.0	13252	255	2447.10	18.5	1.30
65	640.0	13415	255	2472.60	18.4	1.32
66	650.0	13578	255	2498.10	18.4	1.33
67	660.0	13741	255	2523.60	18.4	1.35
68	670.0	13904	255	2549.10	18.3	1.36
69	680.0	14068	255	2574.60	18.3	1.38
70	690.0	14231	255	2600.10	18.3	1.40
71	695.0	14312	255	2612.85	18.3	1.40
Sf.Norm. (kgf)	Taglio	Momento (kgf*m)	Ecc. (cm)	Tens.med. (kgf/cm ²)	Tens.max.	
15152	255	2740.35	18.1	1.44	2.94	

4. RELAZIONE SUI MATERIALI

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

4.1 ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA

Per la realizzazione di strutture metalliche dovranno essere utilizzati i seguenti tipi di acciaio:

- Acciaio da carpenteria metallica S275 con le seguenti caratteristiche:
Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura: $f_{yk} = 430 \text{ N/mm}^2$

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

