

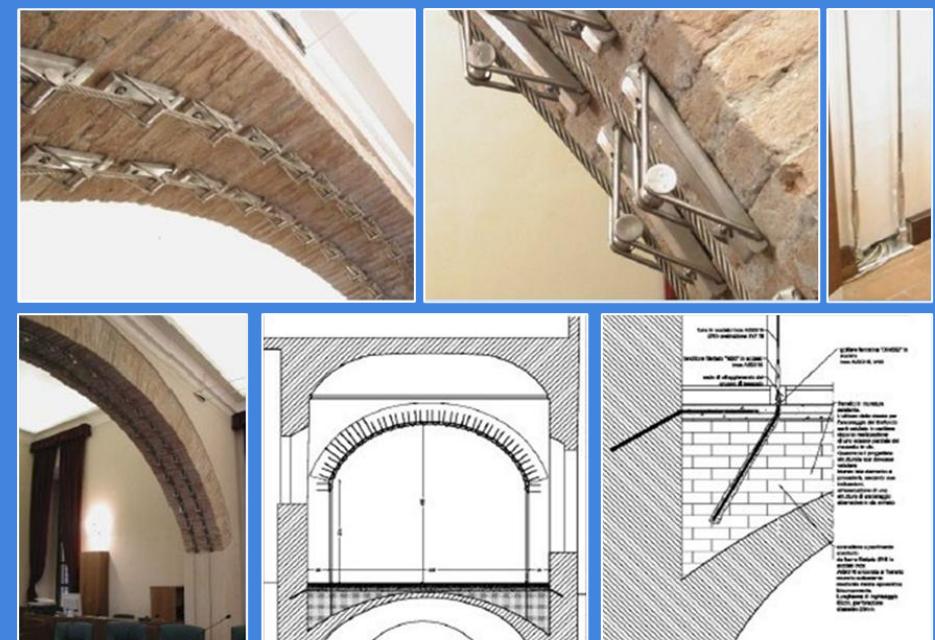
Aedes.SAV 2026

Consolidamento con Tecnica dell'Arco Armato

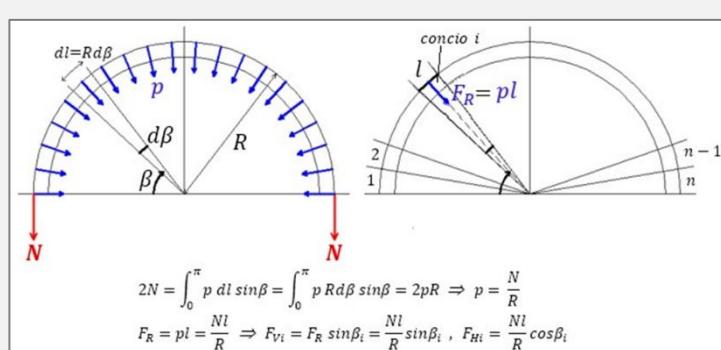
La **tecnica dell'“arco armato”**, proposta ed applicata dal Prof. Jurina [1], è un **metodo di consolidamento leggero, reversibile e privo di incrementi significativi di massa**, concepito per contrastare la formazione delle cerniere e ripristinare uno stato di sollecitazione prevalentemente di compressione.

Il metodo consiste nella posa di uno o più cavi metallici tesi, disposti parallelamente alla generatrice dell'arco o della volta, in posizione estradossale e/o intradossale. Il tiro imposto ai cavi induce uno stato di precompressione nei conci, rendendoli capaci di resistere anche a sollecitazioni flessionali. La tesatura dei cavi attiva un sistema di forze radiali che ricentra la curva delle pressioni, avvicinando il comportamento strutturale alla condizione ideale di compressione pura tra concio e concio, impedendo o posticipando la formazione delle cerniere.

[1] Jurina L., *L'arco armato nel consolidamento di archi e volte in muratura*, Recupero e Conservazione n°33, pp 54-61, 2000



Dettagli dell'arco armato intradossale realizzato nell'ex convento di San Cristoforo, in Lodi. Esempio applicativo (Jurina) [1]



L'efficacia della tecnica è legata all'intensità delle forze radiali trasmesse dal cavo teso alla muratura, che dipendono dal raggio di curvatura locale dell'arco (nell'immagine dello schema statico: le formule implementate in Aedes.SAV). Il cavo è sollecitato a sola trazione, e poiché il cavo segue la stessa curvatura dell'arco, le forze scambiate per azione e reazione inducono nell'arco uno stato di compressione pura. Per conseguenza, nell'arco si ottiene un incremento significativo della capacità portante nei confronti dei meccanismi di collasso di tipo flessionale.

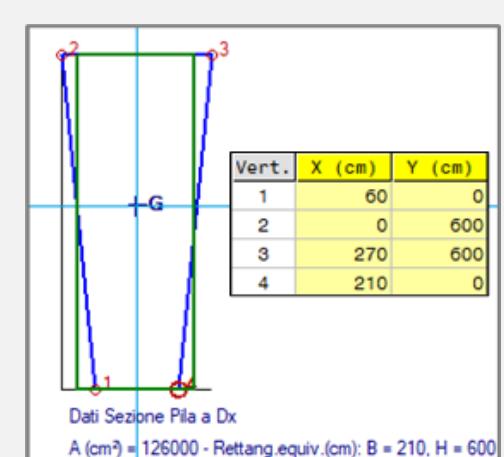
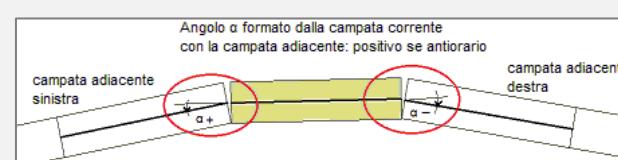
Funzionalità avanzate per i ponti multicampata

Dall'esperienza di numerose applicazioni progettuali, nuove funzionalità e utilità nei comandi di gestione agevolano ed estendono l'utilizzo di SAV per i ponti multicampata.

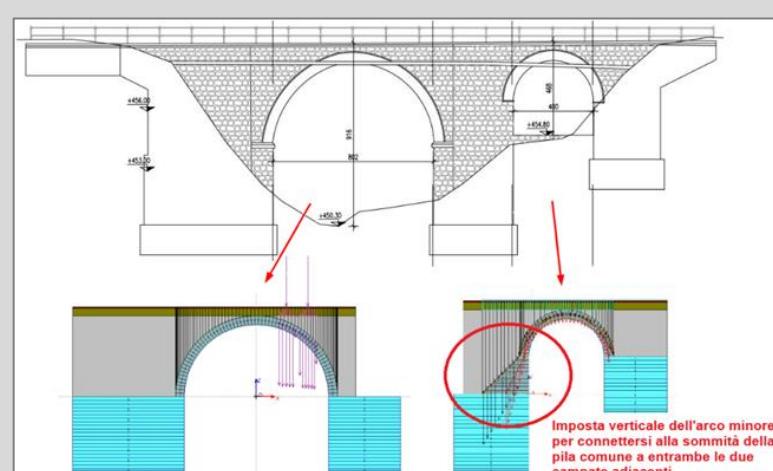
I ponti multicampata possono ora anche essere obliqui e in curva. I ponti in curva sono realizzati attraverso una successione di arcate formanti tra loro un angolo prefissato in pianta.

Nei ponti curvi le pile presentano sezioni a cuneo per assorbire l'angolo tra le campate: in SAV è ora possibile gestire **sezioni qualsiasi (definite per punti)** per le pile, in particolare aventi sezioni non rettangolari a cuneo (un esempio è riportato nell'immagine seguente, dove viene rappresentata la sezione a cuneo, utilizzata nell'analisi, insieme alla sezione rettangolare equivalente).

Le verifiche sono condotte sulla sezione reale, tenendo conto dell'area reagente a compressione per pressoflessione deviata (pila soggetta a sforzo normale e momenti longitudinale e trasversale).



Nuovi comandi per la **definizione di un'imposta verticale**, anche con spessore variabile in elevazione, consentono la corretta modellazione per ponti multicampata dove arcate successive presentano quote di imposta differenti, come nell'immagine seguente.



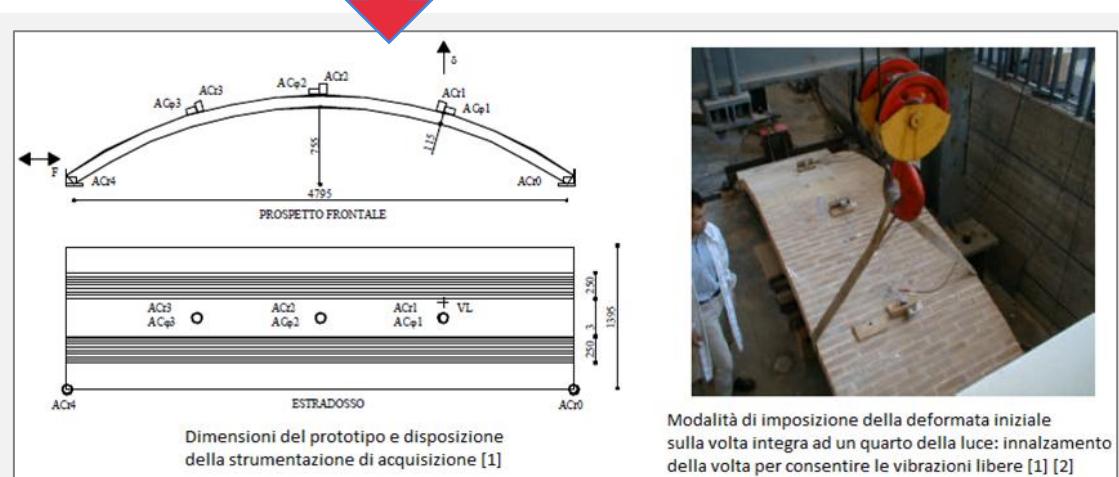
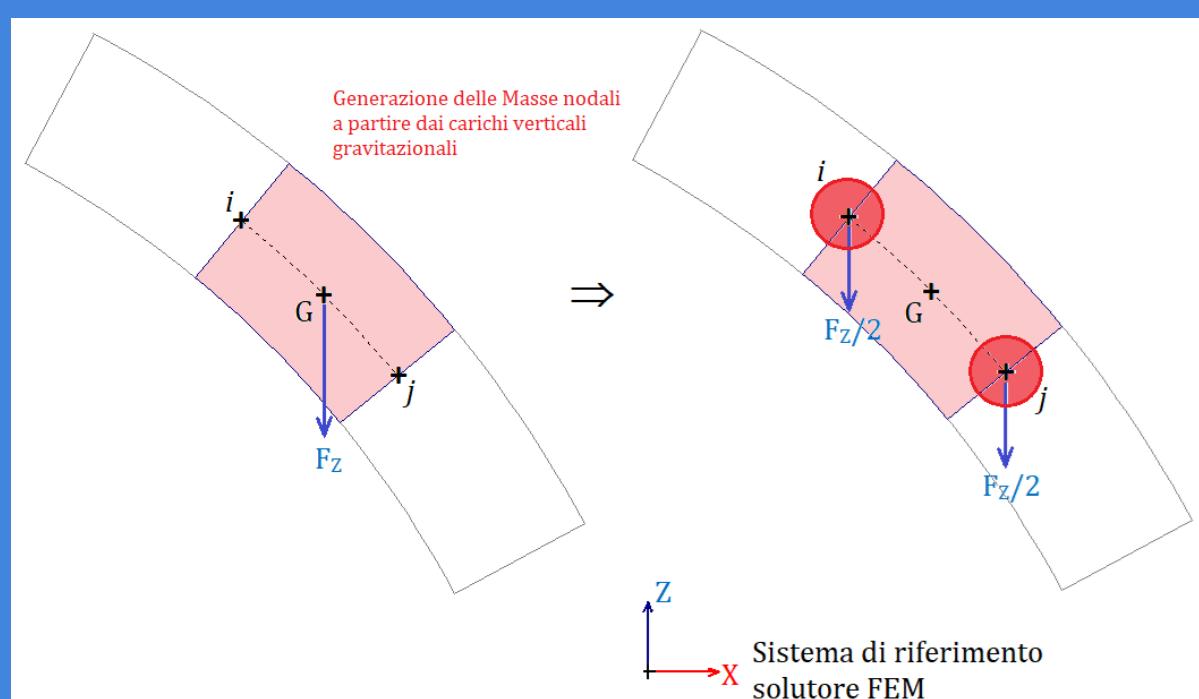
Aedes.SAV 2026

Analisi modale per archi e volte in muratura

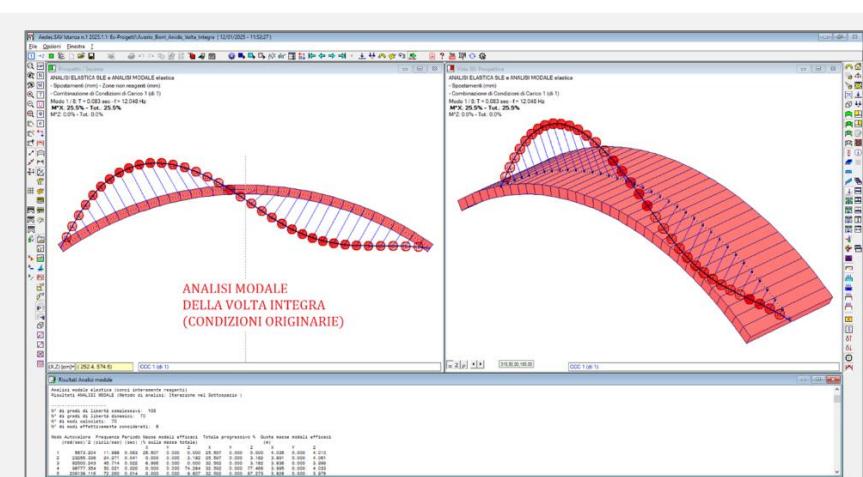
Le strutture voltate sono sistemi di antica concezione e realizzazione, frequentemente danneggiati dagli eventi subiti nel corso della loro vita, in particolare per effetto delle azioni sismiche.

Aedes.SAV, dedicato all'analisi delle strutture murarie voltate, consente lo studio delle proprietà dinamiche delle volte attraverso l'**analisi modale**. La movimentazione delle masse genera i modi di vibrare (periodi, frequenze, forme modali), ed è possibile studiare:

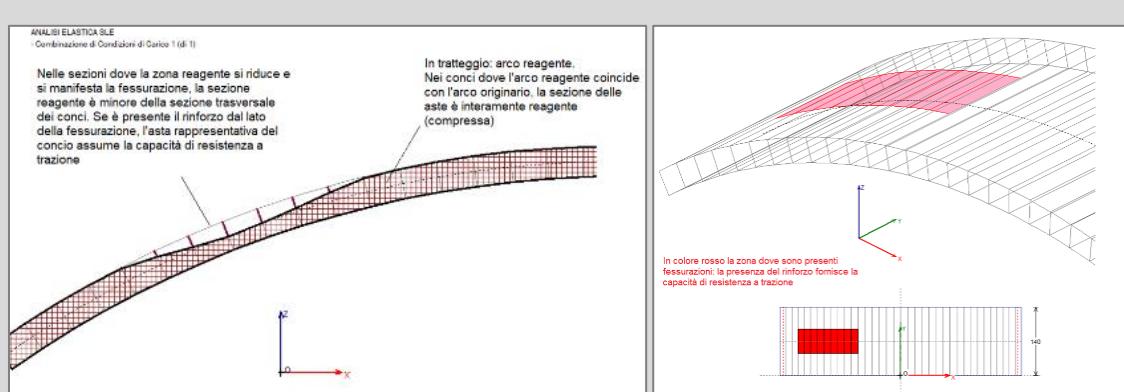
- **volta integra**: caratteristiche originarie del sistema voltato;
- **volta fessurata**: proprietà dinamiche modificate a seguito di uno stato di danneggiamento, indotto da cause statiche o sismiche;
- **volta rinforzata**: proprietà implementate attraverso l'applicazione di un rinforzo, ad esempio in composito, volto a ripristinare la rigidezza originaria.



Studio delle oscillazioni libere: test sperimentale di riferimento*



Analisi modale della volta integra



Studio della volta fessurata e consolidata con materiali compositi

Indagini sperimentali e analitiche condotte con Aedes.SAV mostrano che il rinforzo con materiale composito è in grado di ristabilire il comportamento dinamico originario di volte danneggiate.

Il ripristino con composti si consegna senza la modifica delle condizioni di vincolo e senza l'incremento dei carichi permanenti, a differenza di tecniche tradizionali quali la realizzazione di una cappa in calcestruzzo.

Con Aedes.SAV è comunque possibile controllare la variazione delle proprietà dinamiche a seguito della realizzazione di una cappa in calcestruzzo o di altri tipi di interventi.

Le funzionalità di Aedes.SAV sono state studiate con puntuale riferimento ai contenuti di articoli scientifici sul comportamento dinamico delle volte in muratura: il confronto fra i risultati sperimentali e quelli analitici costituisce validazione della procedura software utilizzata.



Test sperimentale: applicazione di nastri di rinforzo*

* Fonte: Corradi M., Borri. A., Castori G. et al. (rif. bibliografici su www.aedes.it)

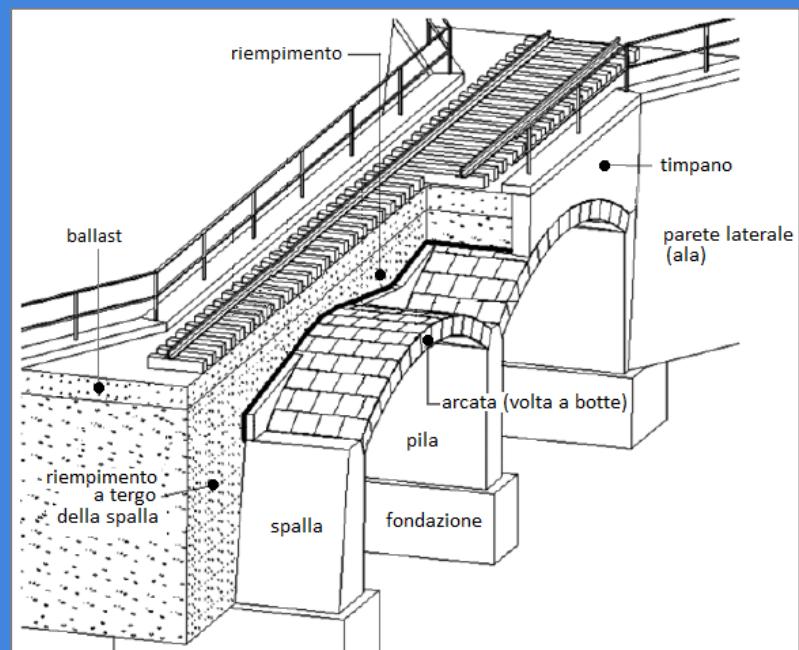
Aedes versioni 2026

Aedes.SAV 2026

Analisi statica e sismica di ponti in muratura e calcestruzzo

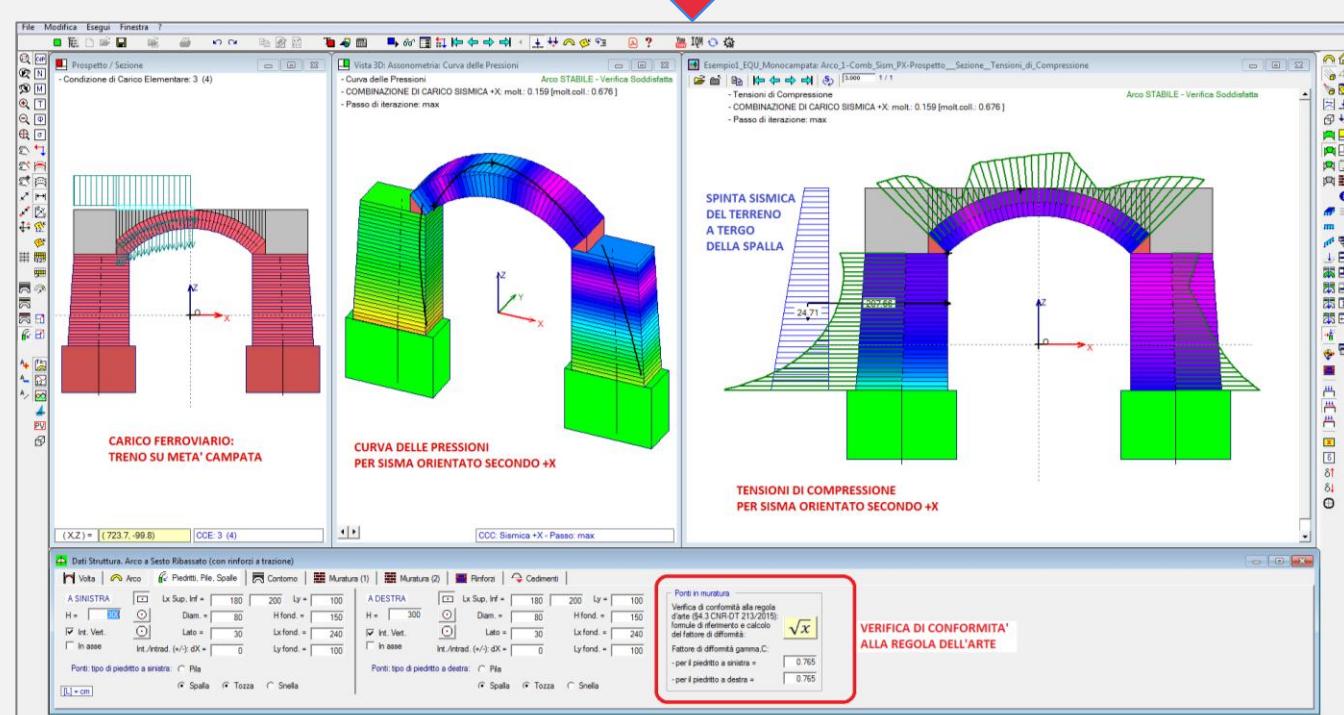
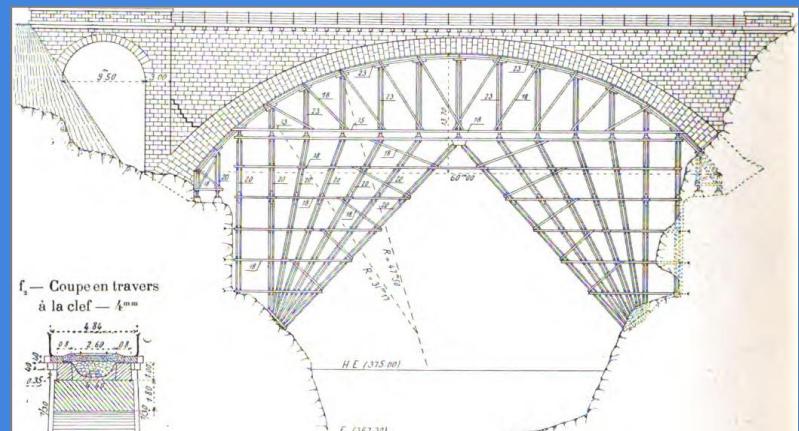
Aedes.SAV gestisce l'**analisi di ponti esistenti in muratura, di tipo stradale o ferroviario**, conformemente alla Normativa vigente: D.M. 17.1.2018 e Circolare 7 del 21.1.2019, linee guida CNR-DT 213/2015: "Istruzioni per la Valutazione della Sicurezza Strutturale di Ponti Stradali in Muratura", normative specifiche per i ponti ferroviari.

I ponti possono essere monocampata o multicampata, in muratura o in calcestruzzo. Sono gestiti ponti obliqui.



Nelle immagini a lato, in senso orario:

1. Elementi strutturali tipici di un ponte ferroviario in muratura. Rielaborazione da Orban e Gutermann, 2009
2. Ponte ferroviario in muratura ad un'unica arcata costruito agli inizi del '900. e Tratto da: Grandes Voûtes, di Paul Séjourné, Ingegnere capo di ponti e strade, 1916
3. Esempio di ponte monocampata

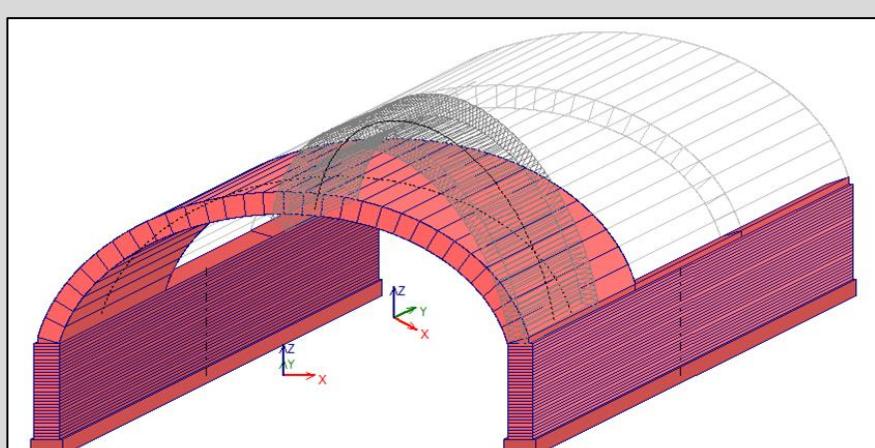


Nei **ponti monocampata** entrambi i piedritti sono costituiti dalle spalle, soggette alle **spinte del terreno**, calcolate automaticamente dal software ed assegnate come azioni lungo lo sviluppo in elevazione dei piedritti. Aedes.SAV distingue i casi di **spalle tozze o snelle**, trattate diversamente dal punto di vista delle spinte. La spinta statica si distingue fra **spinta a riposo** e **spinta attiva**, mentre la **spinta passiva** può essere considerata in percentuale selezionabile in input: ciò permette di inquadrare l'effettiva quota-parte di spinta passiva che può essere mobilitata per l'equilibrio della struttura.

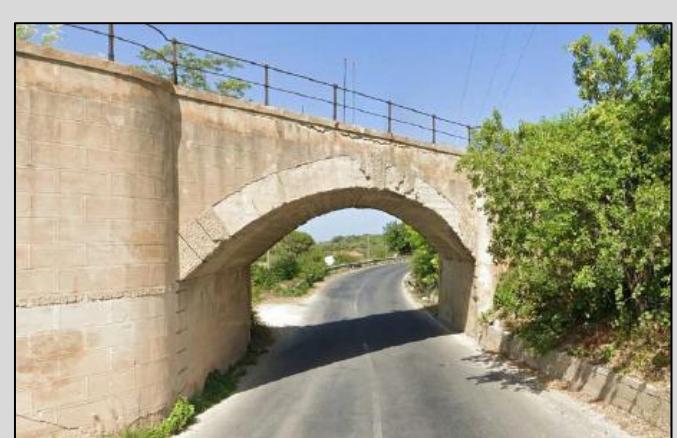
L'**incremento di spinta del terreno dovuto all'azione sismica** viene distinto fra i casi di spalla snella (metodo di Mononobe-Okabe) o tozza (metodo di Wood).

Ponti obliqui

I **ponti obliqui** sono caratterizzati dall'**obliquità tra pile e arcate**. Nella costruzione, per semplicità di apparecchio, si assegnava alla sezione retta un profilo ad arco di cerchio, cui conseguiva un profilo ellittico sulla sezione obliqua.



SAV modella esattamente la geometria del sistema voltato obliquo: gestisce il piano di testata contenente l'arco ellittico e le azioni che la volta trasmette ai piedritti, nel piano e fuori piano rispetto alla profondità dei piedritti. Come per i ponti a volta retta, l'**analisi per carichi mobili** studia gli effetti del transito per l'adeguamento, l'operatività e la transitabilità anche a mezzi pesanti o carichi eccezionali.



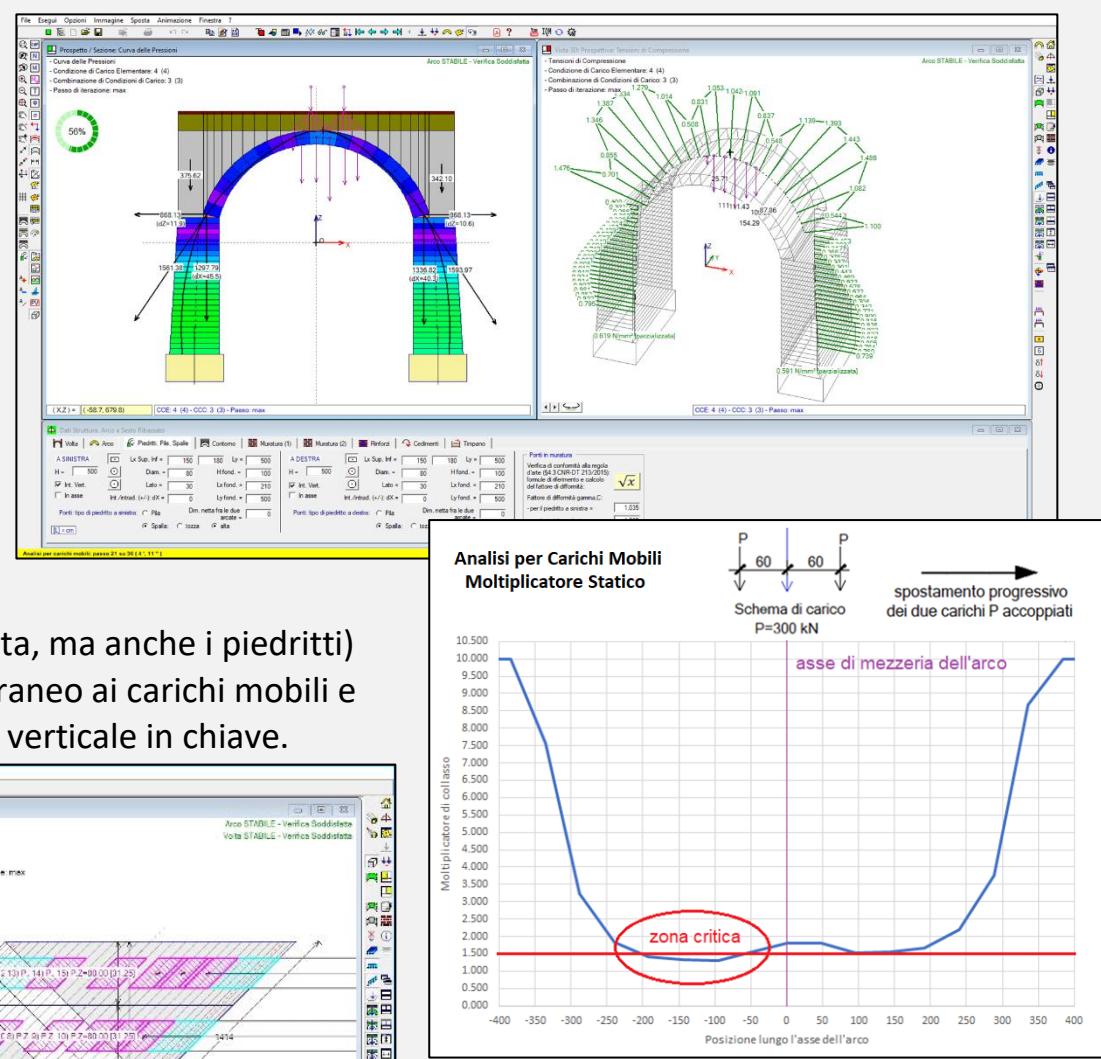
Aedes versioni 2026

Analisi per carichi mobili

Aedes.SAV studia le capacità statiche e sismiche dei sistemi voltati in muratura sottoposti a carichi concentrati mobili, valutandone gli effetti attraverso parametri tipicamente rappresentativi, quali i **moltiplicatori di collasso statico e sismico** e l'**indicatore di rischio sismico**, coerentemente con le indicazioni normative CNR-DT 213/2015.

L'analisi per carichi mobili individua la posizione più sfavorevole dei carichi attraverso una serie di elaborazioni di calcolo che risolvono il sistema voltato, tenendo conto:

- del comportamento statico e sismico
 - di **tutte le possibili cause di crisi** (stabilità, resistenza per compressione, scorrimento nei conci)
 - degli effetti sul sistema voltato completo (non solo l'arcata, ma anche i piedritti)
 - di disposizioni generiche del carico distribuito contemporaneo ai carichi mobili e più in generale di **carichi non simmetrici** rispetto all'asse verticale in chiave.



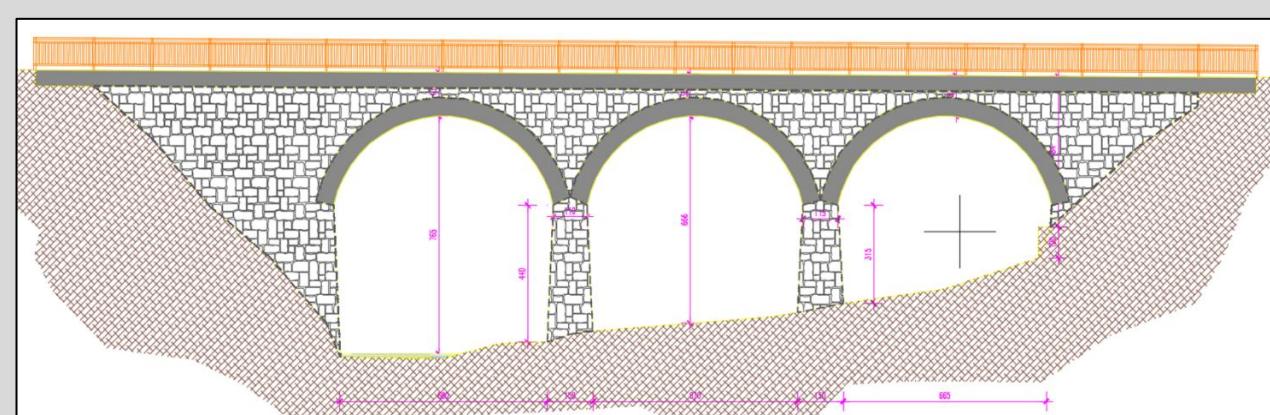
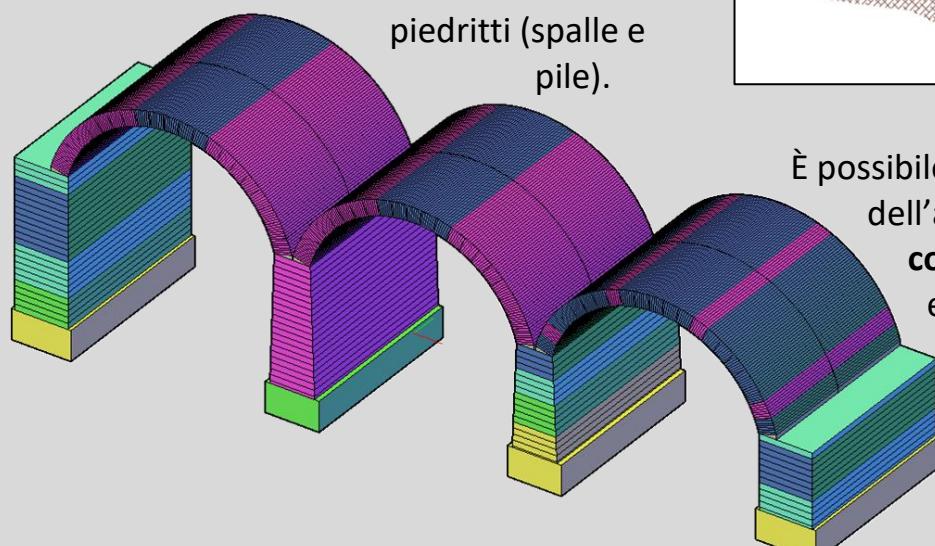
[Scopri di più sull'analisi per carichi mobili in Aedes.SAV, attraverso questo video esplicativo](#)

Aedes.SAV 2026

Funzionalità avanzate per ponti stradali e ferroviari

Ponti multicampata

L'analisi dei ponti multicampata viene condotta con Aedes.SAV con un **modello unitario organizzato per sottostrutture connesse fra loro da azioni di interscambio**. Le sottostrutture sono le singole campate e le azioni di interscambio sono trasmesse dalle arcate sulla sommità dei piedritti (spalle e pile).



È possibile considerare l'**azione sismica trasversale** (ortogonale al piano dell'arcata), molto importante per le pile; più in generale, SAV gestisce la **combinazione sismica direzionale**, con le due direzioni orizzontali X e Y e la verticale Z.

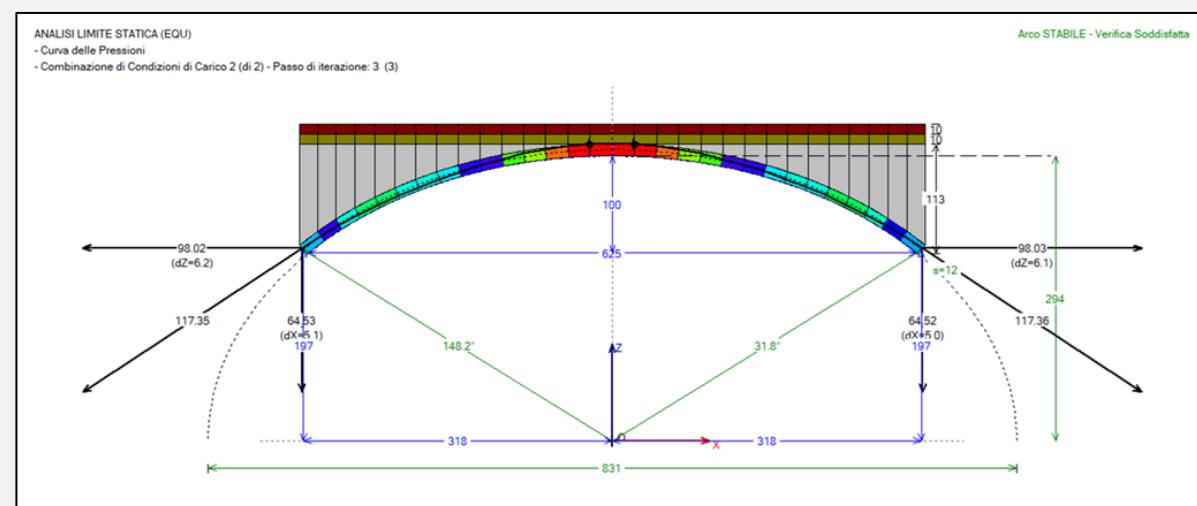
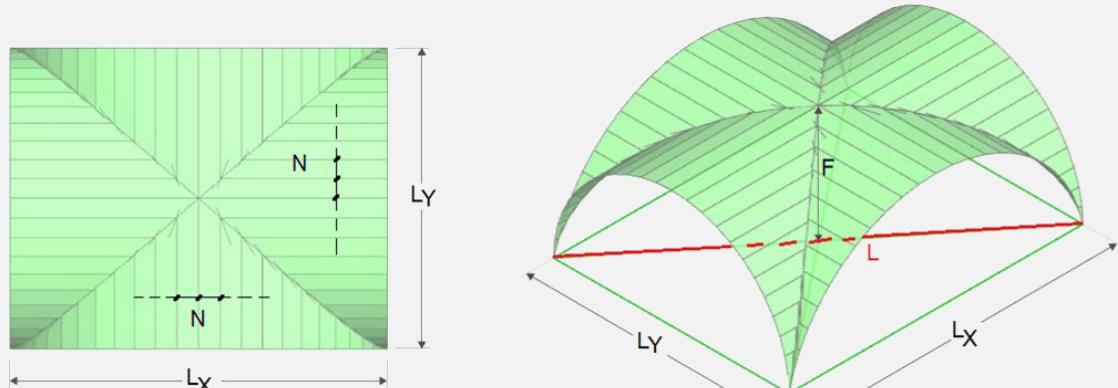
Si possono modellare configurazioni eccezionali a seguito della **crisi di una singola campata**, con l'obiettivo di evitare il crollo delle campate adiacenti.

Aedes versioni 2026

Aedes.SAV 2026 Funzionalità avanzate

Volte a Crociera

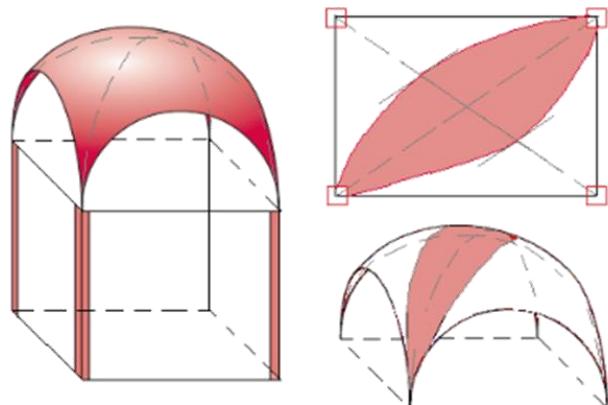
Per le volte a crociera, appositi comandi permettono la **definizione automatica dell'arco diagonale sia dal punto di vista geometrico che da quello dei carichi**, consistenti nelle azioni verticali e nelle spinte applicate dalle lunette ai conci dell'arco diagonale stesso.



Viene gestita la forma ellittica dell'arco diagonale, generata dall'intersezione di due volte a botte (cilindriche) con generatrice circolare.

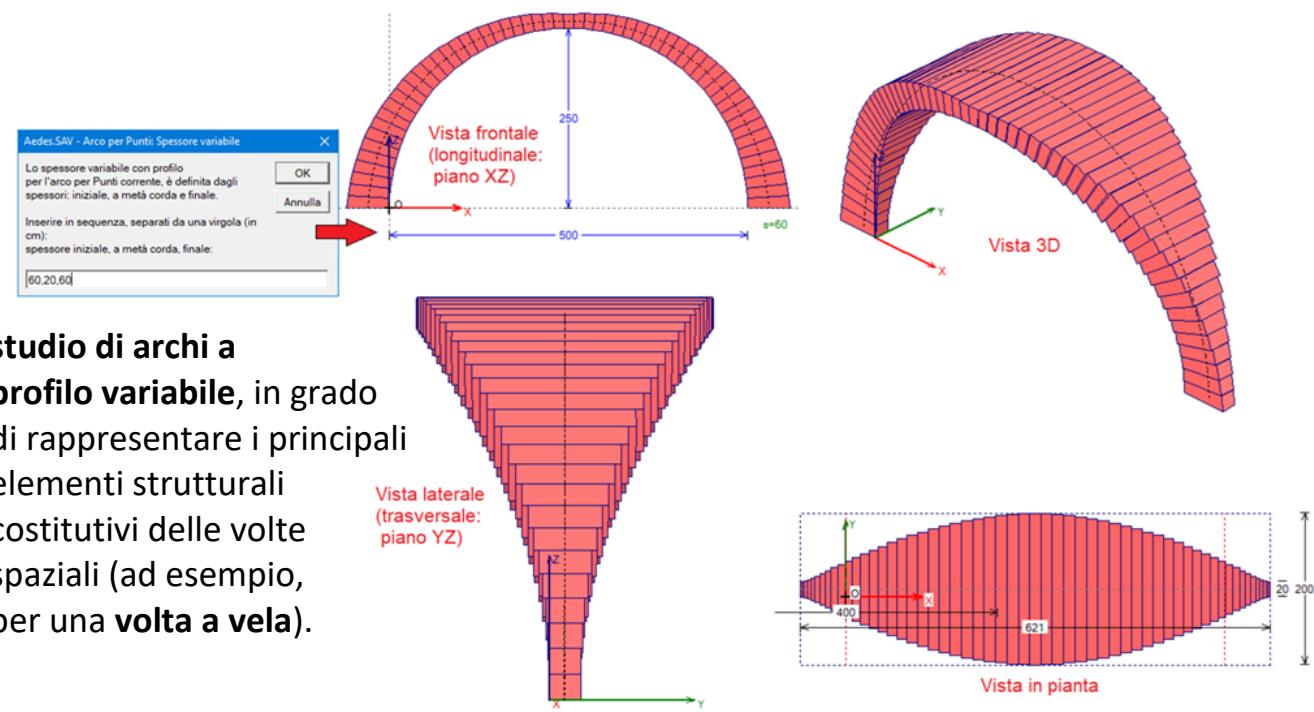
Archi a profilo variabile

SAV opera su un modello piano di arco, dove profondità e spessore possono essere variabili concio per concio: ciò consente lo

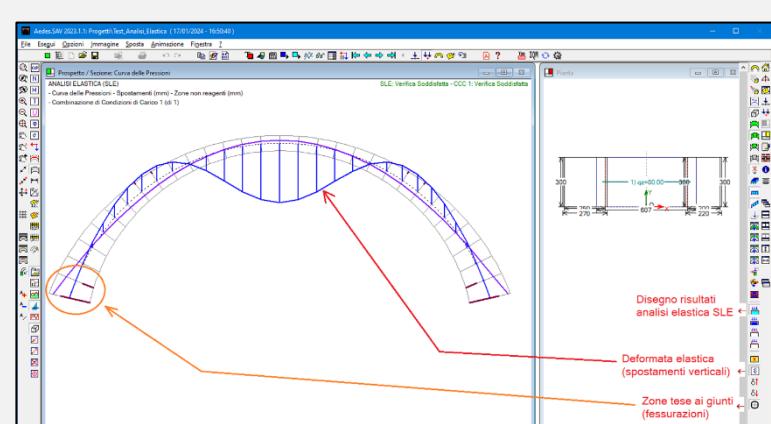


studio di archi a profilo variabile, in grado di rappresentare i principali elementi strutturali costitutivi delle volte spaziali (ad esempio, per una volta a vela).

Mediante comandi dedicati, il profilo variabile può essere elaborato agevolmente internamente a SAV a partire da una tipologia notevole, ad esempio un arco a tutto sesto.



Analisi Elastica (SLE)



L'analisi elastica in SAV, di tipo **non lineare con muratura non reagente a trazione** (secondo §8.4.2 CNR-DT 213/2015), è finalizzata alle verifiche per **Stato Limite di Esercizio**, ed è condotta secondo un modello ad elementi finiti (FEM) **non resistenti a trazione** e applicando un **procedimento iterativo** che corregge le proprietà statiche delle **sezioni trasversali** in base alla sola parte reagente a compressione. La visualizzazione dell'arco reagente a compressione, innovazione introdotta da SAV, sia per SLE che per SLU, evidenzia lo scheletro portante della struttura sotto i carichi agenti.

