

Aedes versioni 2025

Funzionalità avanzate e contenuti innovativi
Comprendere il reale comportamento statico e sismico

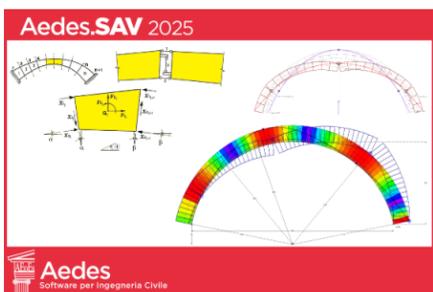


- Studi ed elaborazioni per il patrimonio edilizio esistente
- Analisi di vulnerabilità. Edilizia ordinaria, storica e monumentale. Recupero e consolidamento
- Analisi Parametrica: gestione delle incertezze e ottimizzazione degli interventi
- Classificazione sismica (sismabonus)
- L'Indice di Qualità Muraria. Gerarchia del comportamento strutturale: Disgregazione muraria, Cinematismi di corpo rigido, Comportamento globale elasto-plastico



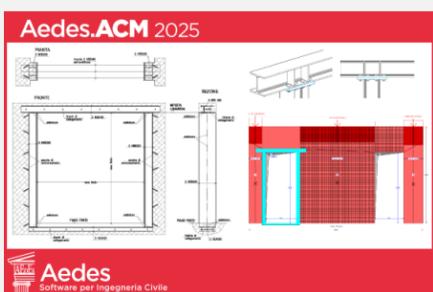
Aedes.PCM 2025

- **Indici di Qualità Muraria (IQM)**
- Verifica di **Disgregazione muraria**
- **Volte**: varie tipologie e calcolo del peso proprio
- Analisi cinematica: **discretizzazione** e **scostamento**



Aedes.SAV 2025

- **Analisi Modale** di volta integra, fessurata, rinforzata. **Analisi Elastica** per Stato Limite di Esercizio
- **Analisi SLU Statica e Sismica**. **Volte a crociera** e **volte a vela**. Archi a **profilo variabile**
- **Ponti stradali e ferroviari in muratura e calcestruzzo**: spinte del terreno, analisi statica e sismica
- Ponti **obliqui** e ponti **multicampata** (spalle e pile). Analisi per **carichi mobili**



Aedes.ACM 2025

- Interventi locali su **murature scadenti**: **disgregazione**, **ristilatura dei giunti**
- Verifiche di sicurezza tenendo conto dell'**influenza del verso dell'azione sismica**
- **Limiti su variazioni** di rigidezza, resistenza e spostamento. **Analisi parametrica**
- Interventi locali e cerchiature: **sicurezza delle pareti sottostanti**



Aedes.SLC 2025

- **Azioni sismiche impulsive**: effetti sui nodi di collegamento
- Probabilità di danno da **jerk verticale**
- Studio statico e dinamico del solaio in legno-calcestruzzo
- Resistenza al fuoco per orditura principale e secondaria

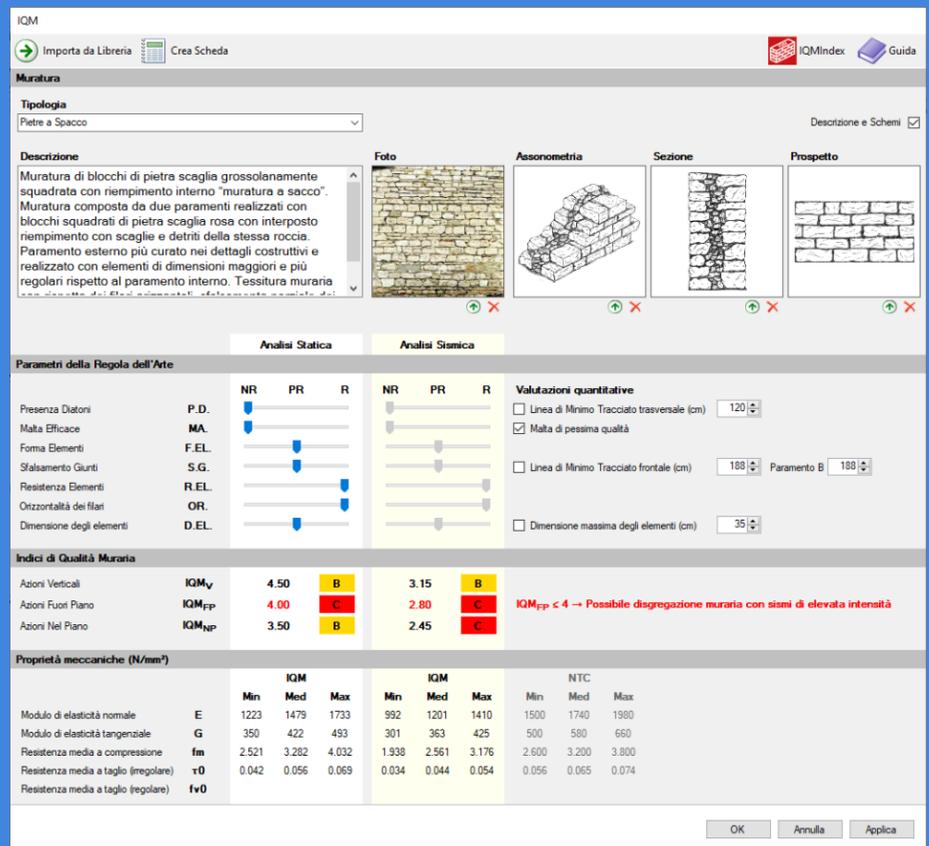
Aedes.PCM 2025 Indici di Qualità muraria (IQM)

Aedes.PCM 2025, in combinazione con il **modulo ECS** dedicato agli Elementi Costruttivi Storici e monumentali, introduce la possibilità di determinare le proprietà meccaniche delle murature esistenti attraverso il metodo **IQM, Indici di Qualità Muraria** [1].

Il metodo IQM è nato nel 2002 presso l'Università di Perugia ed è stato perfezionato nel corso degli anni successivi anche grazie a ricerche condotte in ambito ReLUIIS. Esso si basa su un esame visivo dei paramenti e della sezione di un pannello murario, con lo scopo di verificare il grado di rispetto delle regole dell'arte muraria. Sulla base di tali verifiche si perviene ad un indice numerico che appare ben correlato sia con i parametri meccanici più significativi della muratura in esame, sia con le risposte strutturali attese.

Inoltre, IQM consente una **valutazione della maggiore o minore propensione alla disgregazione** delle murature soggette alle azioni sismiche.

[1] A. Borri, A. De Maria: L'Indice di Qualità Muraria (IQM) e la disgregazione delle murature per effetto del sisma, Structural n. 229. Maggio-giugno 2010



Nella sezione **Parametri della Regola dell'Arte** sono presenti sette parametri la cui valutazione determina gli Indici di Qualità Muraria:

- P.D.** Presenza dei Diatoni, ingranamento trasversale
- MA.** Qualità della Malta, efficace contratto fra elementi
- F.EL.** Forma degli Elementi resistenti
- S.G.** Sfalsamento dei Giunti
- R.EL.** Resistenza degli Elementi
- OR.** Orizzontalità dei filari
- D.EL.** Dimensione degli Elementi resistenti

Ad ognuno di questi parametri è necessario attribuire un **giudizio** sul rispetto della regola dell'arte:

- R.** parametro rispettato
- P.R.** parametro parzialmente rispettato
- N.R.** parametro non rispettato

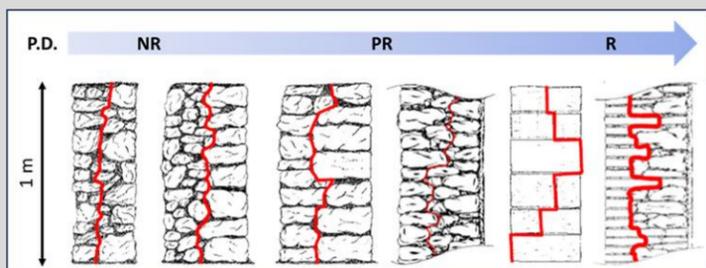
Per alcuni parametri, il giudizio sul rispetto della regola dell'arte può essere determinato attraverso **Valutazioni quantitative**:

- **Linea di Minimo Tracciato trasversale**
- **Malta di pessima Qualità**
- **Linea di Minimo Tracciato frontale**
- **Dimensione massima degli elementi**

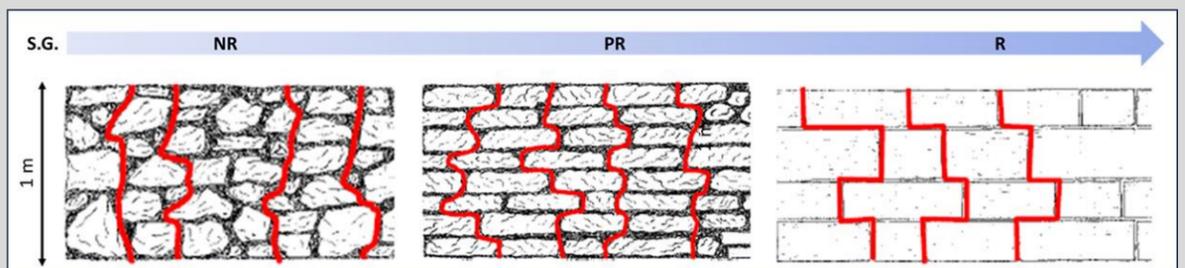
Nella sezione **Indici di Qualità Muraria** vengono riportati i seguenti valori di IQM e la corrispondente categoria:

- IQM_v** Indice di Qualità Muraria per azioni Verticali
- IQM_{FP}** Indice di Qualità Muraria per azioni Fuori Piano
- IQM_{NP}** Indice di Qualità Muraria per azioni Ne Piano

Qualora l'Indice di Qualità Muraria per azioni Fuori Piano sia **IQM_{FP} ≤ 4**, un apposito messaggio indica la **possibile disgregazione muraria con sismi di elevata intensità**.



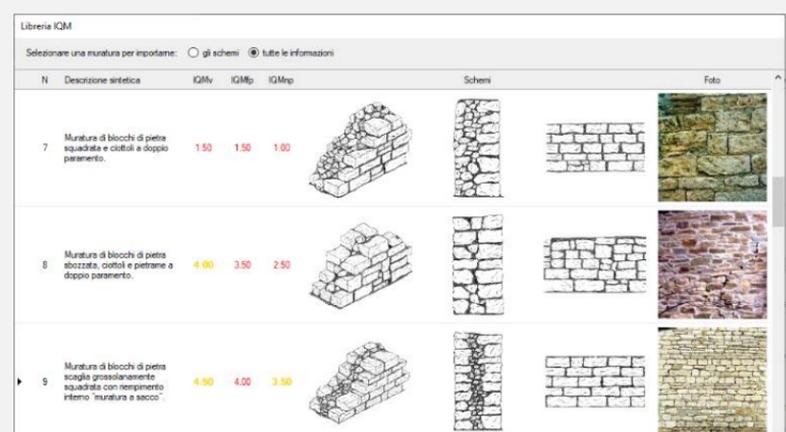
LMT trasversale e sua influenza sul parametro P.D.



LMT frontale e sua influenza sul parametro S.G.

Il comando **Importa da Libreria** consente di importare la descrizione, gli schemi e i parametri della regola dell'arte da una libreria di 22 murature predefinite. Le informazioni sono tratte dalle schede di valutazione della Qualità Muraria pubblicate dagli autori del metodo IQM, nell'ambito della ricerca ReLUIIS.

Dopo aver importato una muratura dalla Libreria, tutte le informazioni possono essere modificate dall'Utente per adeguarle al caso della muratura oggetto di studio.



Aedes.PCM 2025

Verifica di Disgregazione muraria

Aedes.PCM 2025 introduce la **verifica di disgregazione muraria** per gli edifici esistenti, un aspetto determinante nel caso di murature storiche dove si rileva una qualità muraria mediocre con scarsa consistenza della malta.

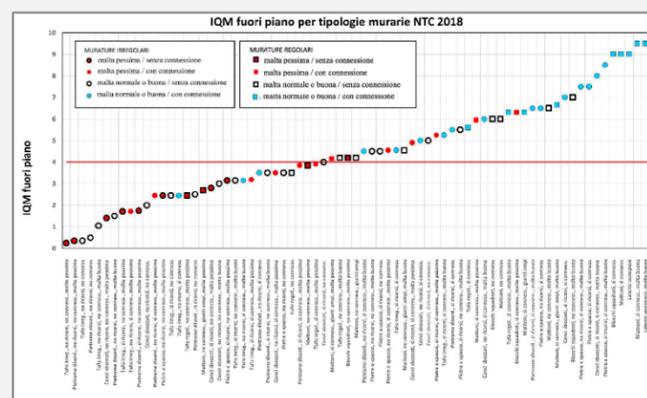
Il fenomeno della disgregazione è evidenziato nei contenuti della Normativa Tecnica. Nel paragrafo §C8.7.1.2.1 delle NTC 2018, dedicato alle modalità di svolgimento dell'analisi cinematica, si specifica anzitutto che **"la rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di disgregazione"**.



Nel **metodo IQM** si evidenzia come il valore dell'indice di qualità muraria fuori piano (**IQM_{FP}**) condensa in sé il rispetto o meno di quelle regole dell'arte rivolte ad ottenere un comportamento di tipo monolitico.

Gli Autori del metodo, tenendo come riferimento le varie tipologie proposte nella normativa italiana, e sulla base delle esperienze condotte nei rilevamenti post sismici dei vari terremoti italiani, hanno proposto di utilizzare, per gli edifici ordinari posti in zone con pericolosità sismica medio-alta, il valore di **IQM_{FP} = 4** come valore di soglia. **Valori di IQM_{FP} eguali od inferiori a 4 indicano la possibilità di manifestazione di fenomeni disgregativi.**

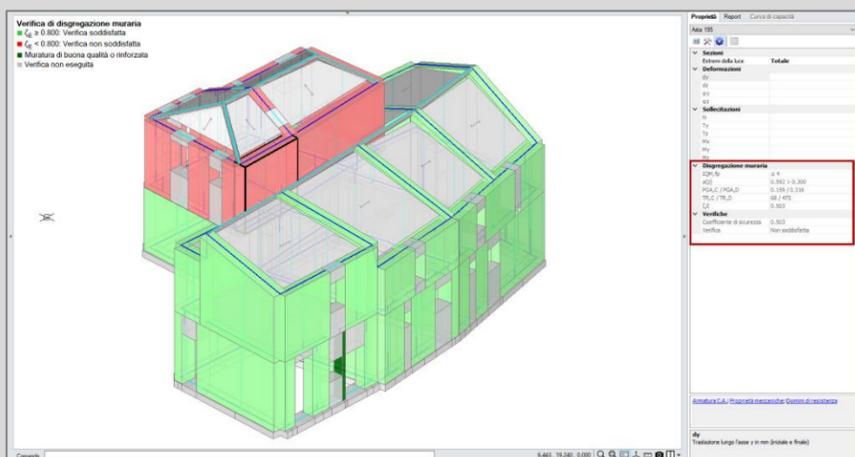
STEP	Situazione strutturale	Comportamento sismico	Analisi più adatta	Intervento prioritario
CONOSCENZA DELLA COSTRUZIONE				
0	Muratura di qualità meccanica insufficiente	Disgregazione muratura	Valutazione qualità muraria	Migliorare la qualità della muratura e la sua coesione interna
1	Muratura di sufficiente qualità Assenza di collegamenti efficaci	Locale (formazione di cinematismi)	Analisi cinematica dei meccanismi di collasso Analisi per carichi verticali (solai, copertura) Ricognizione delle vulnerabilità locali	Inserire vincoli (catene, collegamenti, etc...) Rinforzo di solai e coperture (se necessario) Eliminare vulnerabilità
2	Muratura di sufficiente qualità e presenza di collegamenti efficaci e diffusi sull'intera costruzione	Impalcati deformabili	Completivo (risposta d'insieme e carichi per zone d'influenza) Assenza di effetti torcenti globali	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti
		Impalcati rigidi	Globale (risposta d'insieme e carichi proporzionali alle rigidità) Presenza di effetti torcenti globali	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti



La scarsa qualità identificata con **IQM_{FP} ≤ 4** è una condizione necessaria per la disgregazione, ma affinché il fenomeno si manifesti occorre un'accelerazione sismica di intensità sufficientemente elevata. La **soglia di accelerazione sismica oltre la quale si può innescare il fenomeno disgregativo** è argomento tuttora in corso di studio; è comunque possibile attribuire a tale soglia un valore plausibile che ad esempio può considerarsi non inferiore a 0.200-0.300 g

In Aedes.PCM, la **verifica nei confronti della disgregazione** viene condotta con le seguenti modalità:

- **Per ogni maschio murario avente IQM_{FP} ≤ 4, viene valutata l'accelerazione strutturale di progetto alla base della parete,** definita attraverso lo spettro di piano che considera i dati sismici del sito di ubicazione, la posizione della parete lungo l'elevazione dell'edificio e le proprietà dinamiche dell'edificio stesso.
- **Se l'accelerazione strutturale è maggiore della soglia prefissata in input come valore che può innescare il fenomeno disgregativo, la verifica di disgregazione non è soddisfatta.**



La verifica di Disgregazione muraria viene eseguita in fase di modellazione strutturale con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Si tratta di una verifica interattiva che viene automaticamente rieseguita ogni qual volta interviene una modifica che ne condiziona il risultato.

Scegliendo di considerare la disgregazione muraria nella valutazione della sicurezza, l'indicatore di rischio sismico relativo a SLV terrà conto del comportamento di disgregazione muraria.

Intervento di Ristilatura Non Armata

Aedes.PCM 2025 introduce l'intervento di consolidamento attraverso **ristilatura profonda dei giunti di malta**, comunemente definito Ristilatura Non Armata.

Nelle proprietà degli elementi strutturali in muratura esistente, scheda Interventi, è ora possibile attivare l'intervento di Ristilatura scegliendo tra Ristilatura Armata e Ristilatura Non armata.

In caso di **Ristilatura Non Armata** dei giunti di malta, le proprietà meccaniche della muratura vengono incrementate applicando il coefficiente correttivo relativo alla malta di buona qualità, pesato sulla percentuale di spessore effettivamente consolidato.

Proprietà Report	
Asta 6	
Interventi	
Iniezioni	No
Intonaco armato	No
Diatoni o tirantini	No
Ristilatura	Non armata
- spessore consolidato (%)	50
Altri interventi	Nessuno

Aedes.PCM 2025

Volte: varie tipologie e calcolo del peso proprio

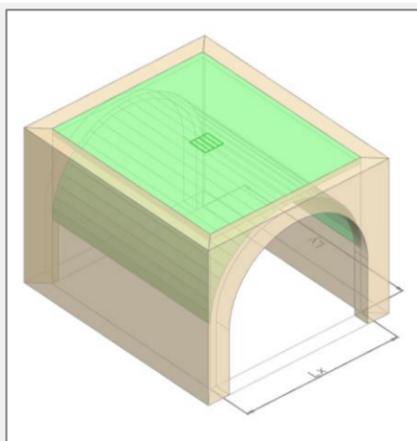
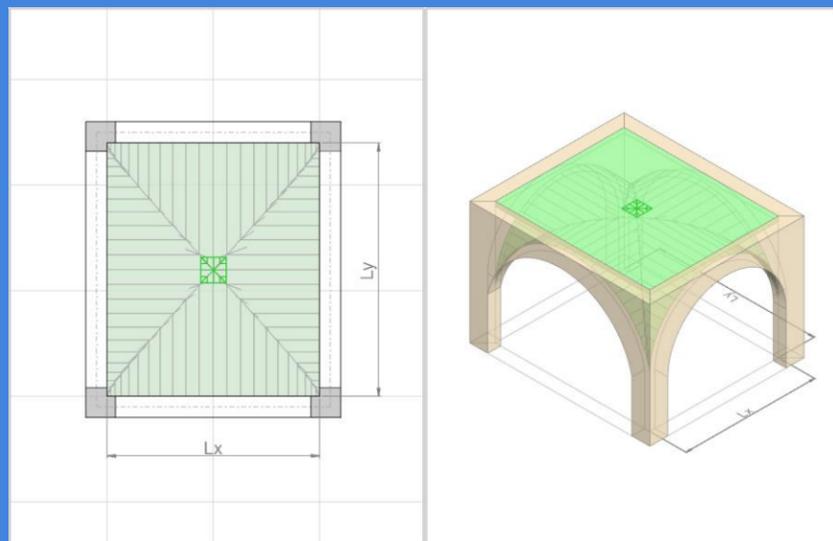
In Aedes.PCM le **volte in muratura** possono essere considerate nel modello per mezzo di solai con tipologia "volta". Questi elementi, al pari di tutti i solai, hanno la funzione di "raccolgere" carico (peso proprio e carichi superficiali) e distribuirlo agli elementi di contorno sotto forma di carichi verticali e (in presenza di spinte) orizzontali.

Le tipologie Volta a crociera, Volta a vela, Cupola e Cupola con pennacchi, richiedono il **modulo ECS** dedicato agli Elementi Costruttivi Storici e monumentali.

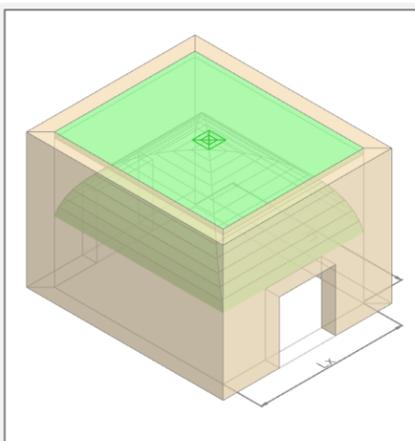
La rappresentazione 3D di solai con tipologia volta o cupola include ora la **superficie di intradosso** che permette all'utente di avere il pieno controllo sulla modellazione e sui parametri in input.

La definizione del **peso proprio** dei solai segue strade differenti a seconda della tipologia:

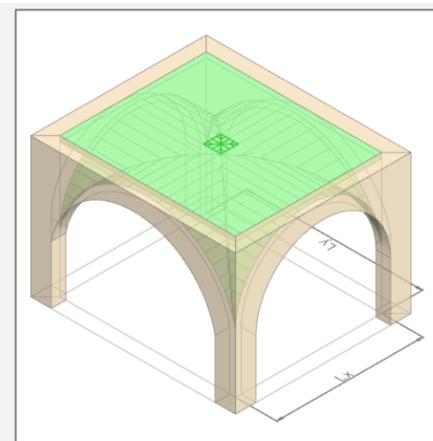
- nel caso di **solai piani e falde**, il peso proprio deve essere **specificato manualmente** dall'utente sotto forma di carico superficiale;
- nel caso di **volte e cupole**, il peso proprio è **considerato automaticamente** dal software sulla base delle proprietà in input.



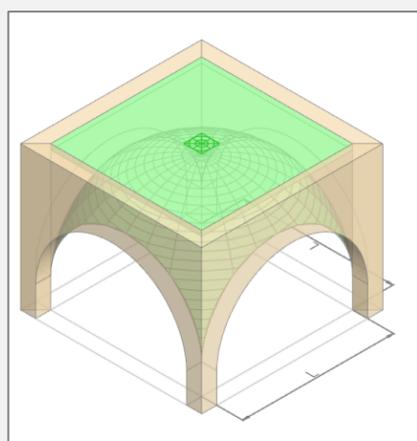
Volta a botte



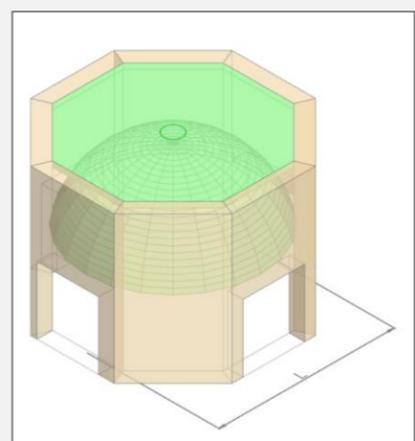
Volta a padiglione



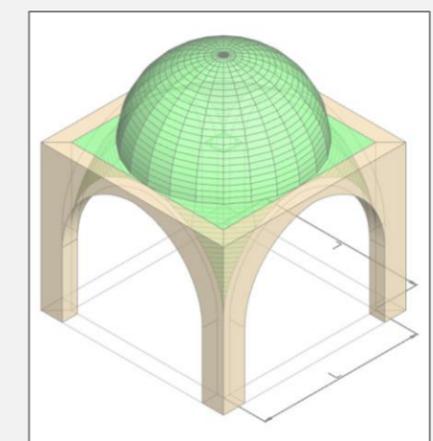
Volta a crociera



Volta a vela



Cupola

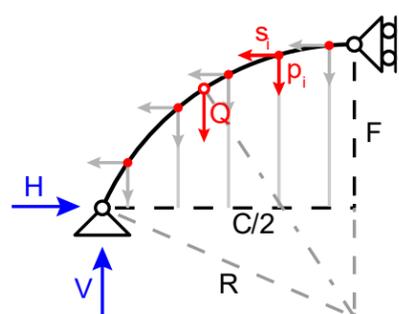
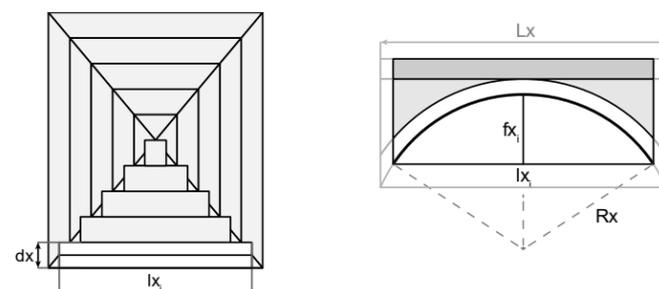


Cupola con pennacchi

Il calcolo del peso proprio e delle azioni alle imposte viene condotto per ogni tipologia di volta con dei metodi ben documentati.

Ad esempio, nel caso della **volta a crociera**, ognuna delle 4 unghie viene suddivisa in una serie di volte a botte affiancate, dette **lunette**. L'immagine illustra, in pianta, la discretizzazione di una volta a crociera in lunette (5 per unghia) e si focalizza su una delle lunette in direzione x (rappresentata in sezione longitudinale).

Per ogni lunetta, vengono calcolate le reazioni all'imposta, con un procedimento analogo a quello utilizzato per la volta a botte.



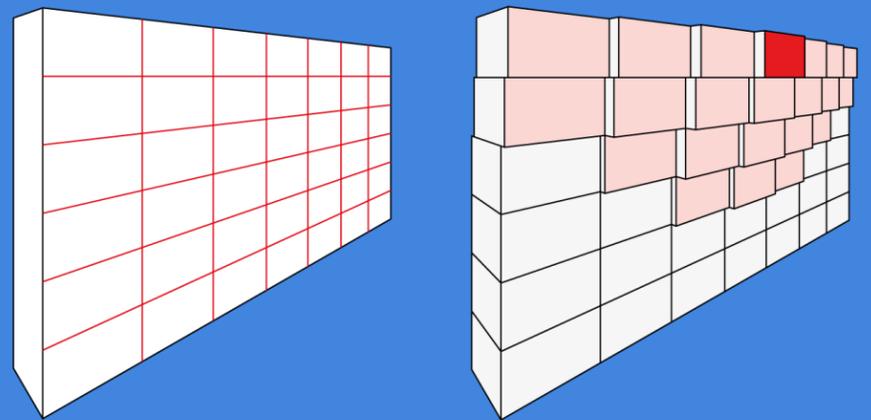
Successivamente, il calcolo del **carico verticale P** e della **spinta orizzontale S** esercitata dalla volta a crociera sui 4 vertici del perimetro viene svolto con riferimento a uno degli **archi diagonali** della volta. Si considera lo schema statico illustrato in figura, ipotizzando i seguenti vincoli: una cerniera in corrispondenza dell'imposta e un carrello scorrevole in direzione verticale in chiave. Sull'arco sono applicate le azioni alle imposte delle lunette, cioè le forze verticali (p_i) e le spinte orizzontali (s_i), ottenute dalla combinazione delle forze relative alle lunette in direzione x e y. Il peso proprio di eventuali costoloni è considerato come un carico concentrato (Q) agente nel punto medio dell'arco.

Aedes.PCM 2025

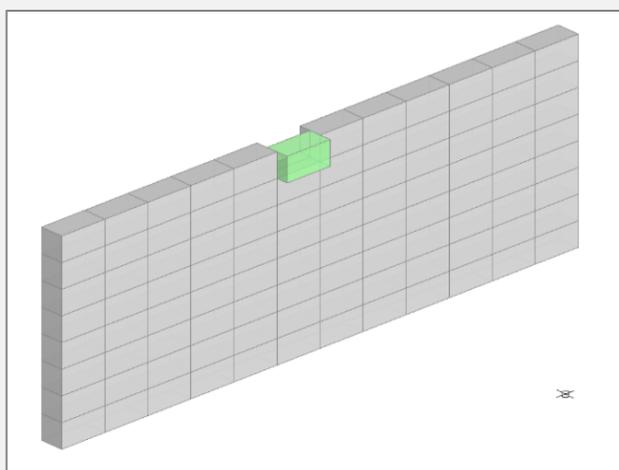
Analisi cinematica: discretizzazione e scostamento

Aedes.PCM propone due funzioni avanzate per l'analisi cinematica dei meccanismi di collasso: la **discretizzazione** e lo **scostamento** dei corpi rigidi.

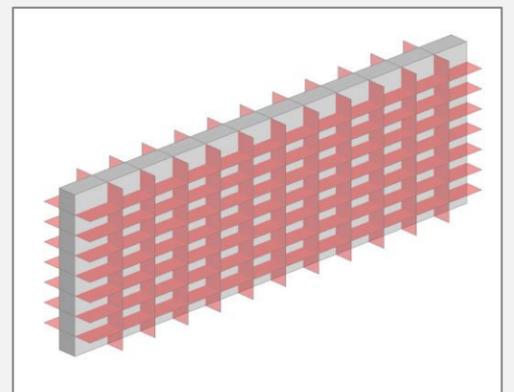
Grazie a queste funzioni è possibile definire meccanismi di collasso locale che tengano conto di un eventuale **fuoripiombo o spanciamento delle pareti**. Entrambe le funzioni richiedono il **modulo ECS**, dedicato agli Elementi Costruttivi Storici e monumentali.



La funzione di **Discretizzazione** permette di suddividere un corpo rigido, o un insieme di corpi rigidi paralleli, per mezzo di una griglia di taglio, specificando la larghezza e l'altezza dei blocchi risultanti. La discretizzazione, così come i tagli per mezzo di polilinea o piano qualsiasi, viene applicata al cinematismo corrente: negli altri cinematismi il corpo rigido rimane integro.

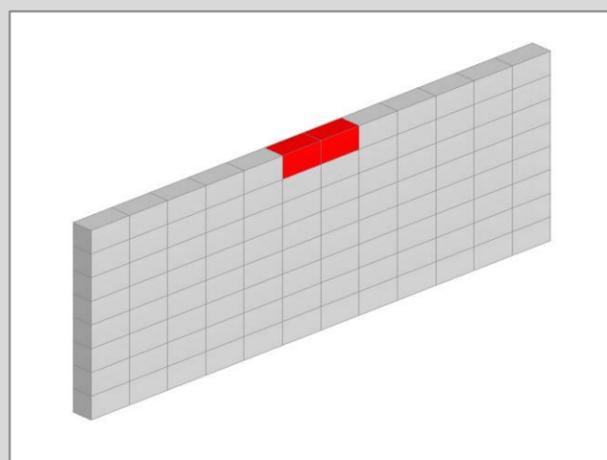


Ai blocchi risultanti dalla discretizzazione (o in generale a tutti i blocchi che derivano dal taglio di un corpo rigido) può essere applicato uno **scostamento in direzione trasversale**, cioè un offset rispetto alla posizione originaria che permetta di descrivere con maggiore precisione la reale conformazione dei corpi partecipanti al cinematismo. Per utilizzare questa funzione è sufficiente selezionare i corpi interessati e specificare l'entità dello scostamento nelle proprietà. Lo scostamento può essere positivo o negativo e viene applicato solo al cinematismo corrente. L'applicazione di uno scostamento ai corpi partecipanti al meccanismo ha ovviamente effetto sul calcolo del moltiplicatore di collasso, in quanto incide sul punto di applicazione della forza peso e delle forze inerziali.

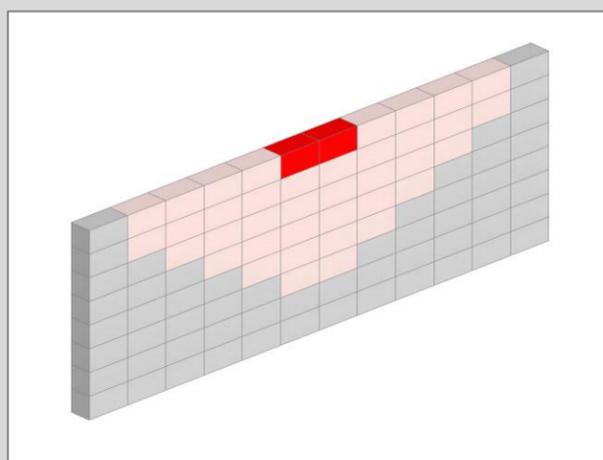


Oltre allo scostamento "manuale" dei corpi rigidi, è presente una funzione avanzata che permette di applicare rapidamente uno **scostamento continuo** ai blocchi risultanti da una discretizzazione. In questo modo sarà possibile modellare in pochi passaggi la presenza di un fuoripiombo o di uno spanciamento del corpo rigido originario.

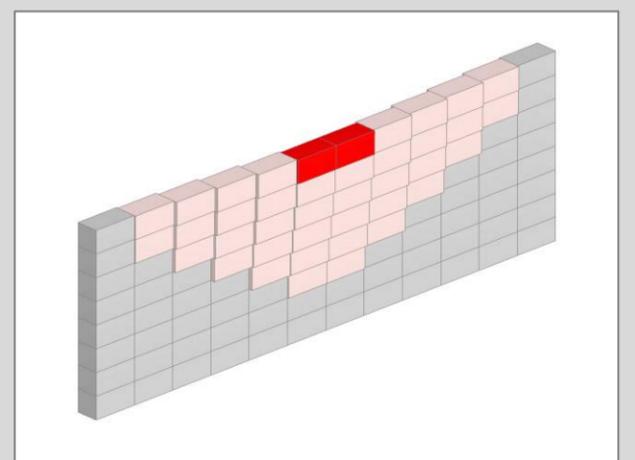
Per applicare lo scostamento continuo è necessario attivare il comando Scostamento (scheda Cinematismi, gruppo Avanzate). Appare una finestra che indica le tre operazioni da compiere per modellare lo scostamento:



Selezione dei corpi con scostamento massimo



Selezione dei corpi coinvolti nello scostamento



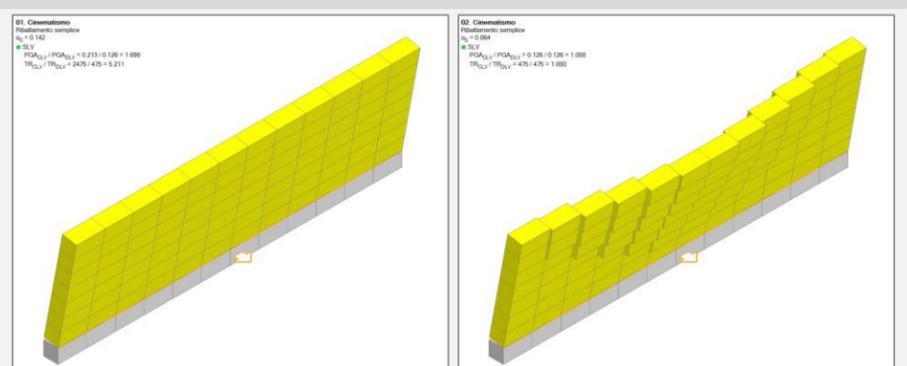
Definizione dello scostamento massimo

Si consideri un muro con le seguenti caratteristiche: altezza 8.0 m, lunghezza 24.0 m, spessore 1.0 m, peso specifico 19.00 kN/m³.

Le immagini mettono a confronto il meccanismo di ribaltamento semplice considerando due configurazioni :

- configurazione originaria, senza scostamento;
- configurazione deformata, con scostamento massimo pari a 1.2 m.

Nella configurazione deformata si ottiene un moltiplicatore di collasso pari a 0.064, che risulta inferiore al moltiplicatore nella configurazione originaria pari a 0.142. Questo conferma l'incidenza dello scostamento continuo sui risultati dell'analisi cinematica.



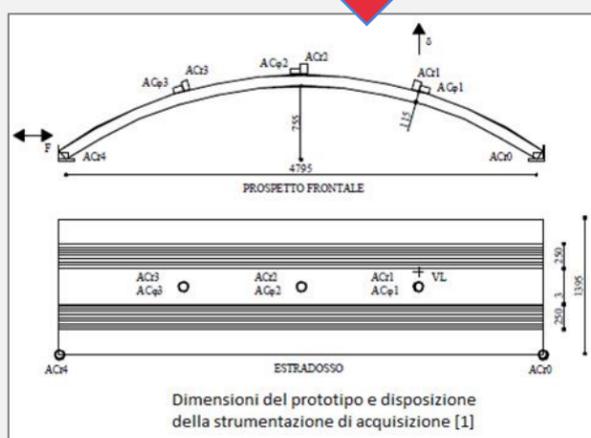
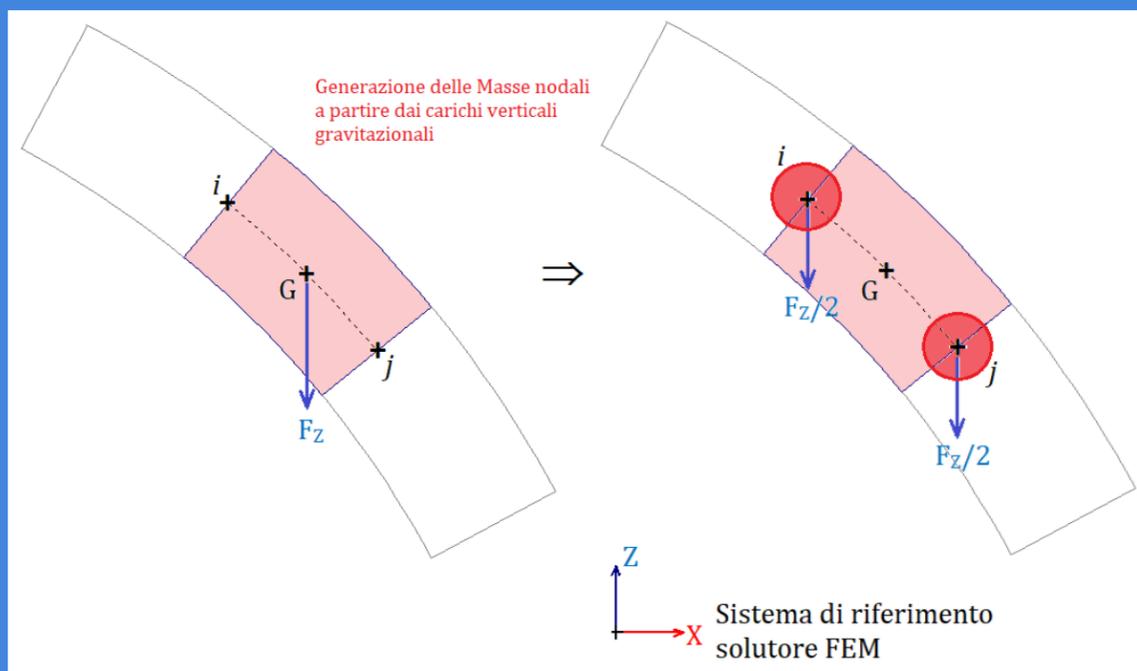
Aedes.SAV 2025

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 rigidità originaria.

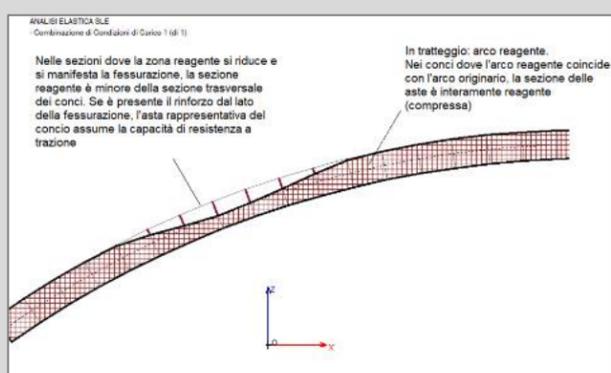


Modalità di imposizione della deformata iniziale sulla volta integra ad un quarto della luce: innalzamento della volta per consentire le vibrazioni libere [1] [2]

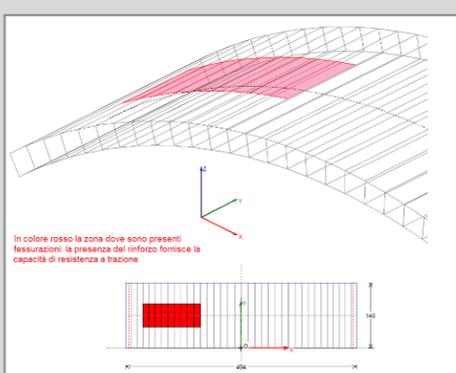
Studio delle oscillazioni libere: test sperimentale di riferimento*



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 compositi si consegue 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 2025

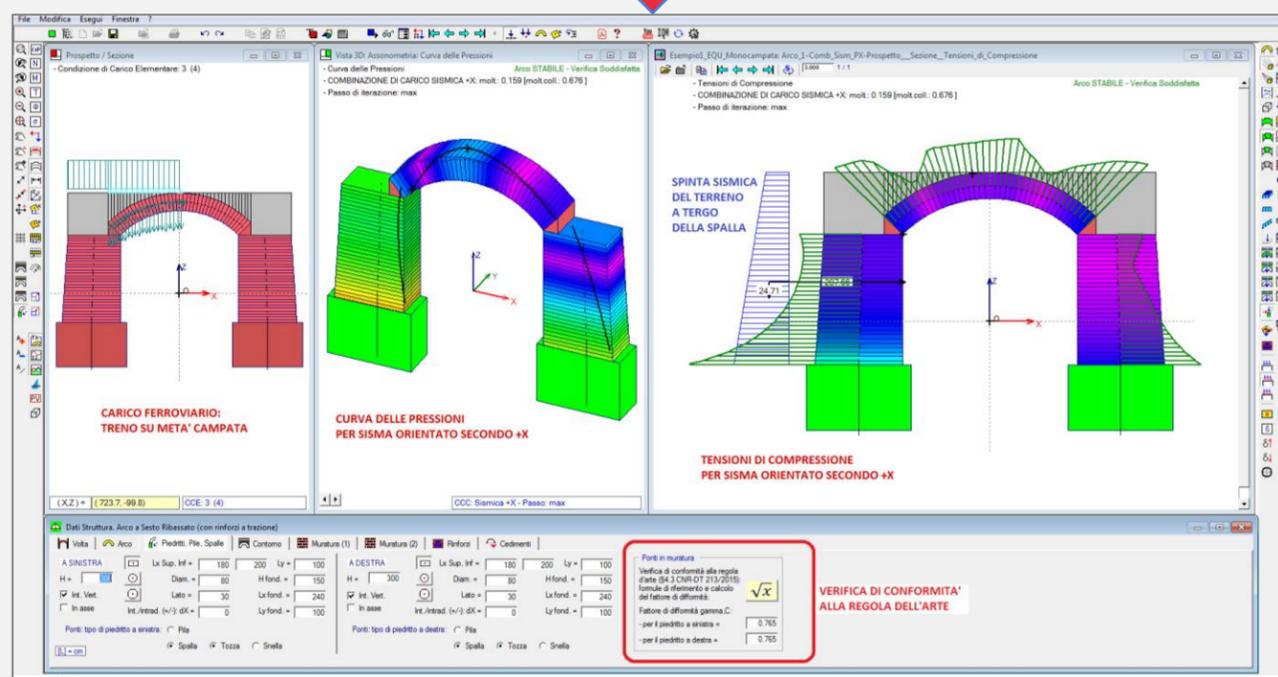
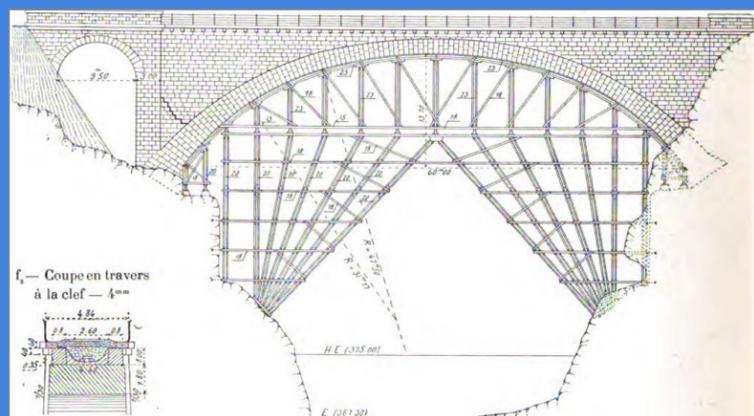
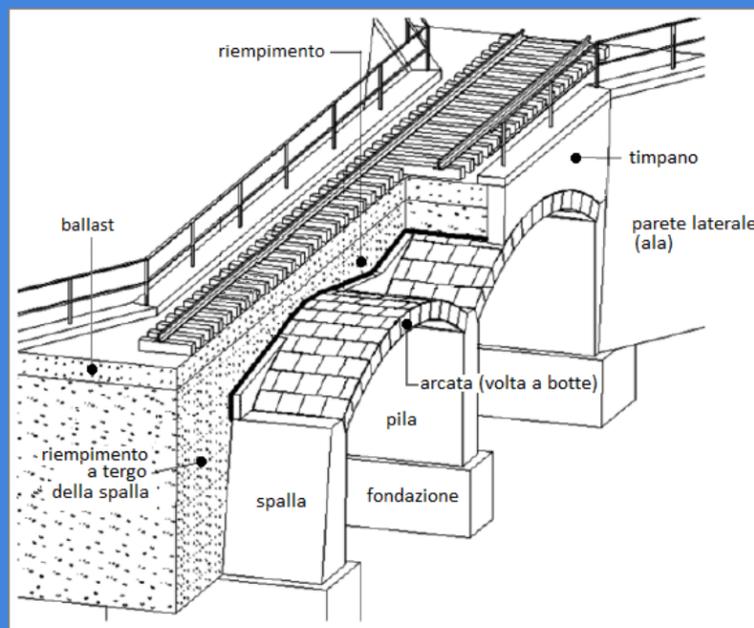
Aedes.SAV 2025

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 Urban 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

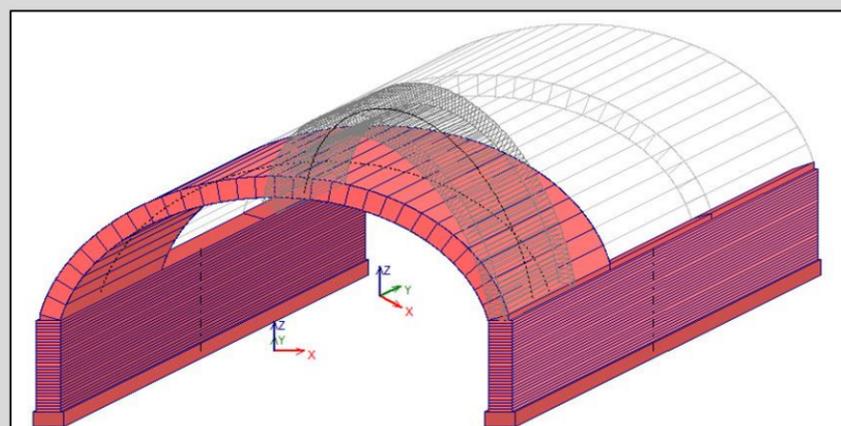


Nei ponti monocampata entrambi i piedritti sono costituiti dalle spalle, soggette alle **spinte del terreno**, calcolate automaticamente dal software ed assegnate come azioni lungo lo sviluppo in elevazione dei piedritti. Aedes.SAV distingue i casi di **spalle tozze o snelle**, trattate diversamente 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.



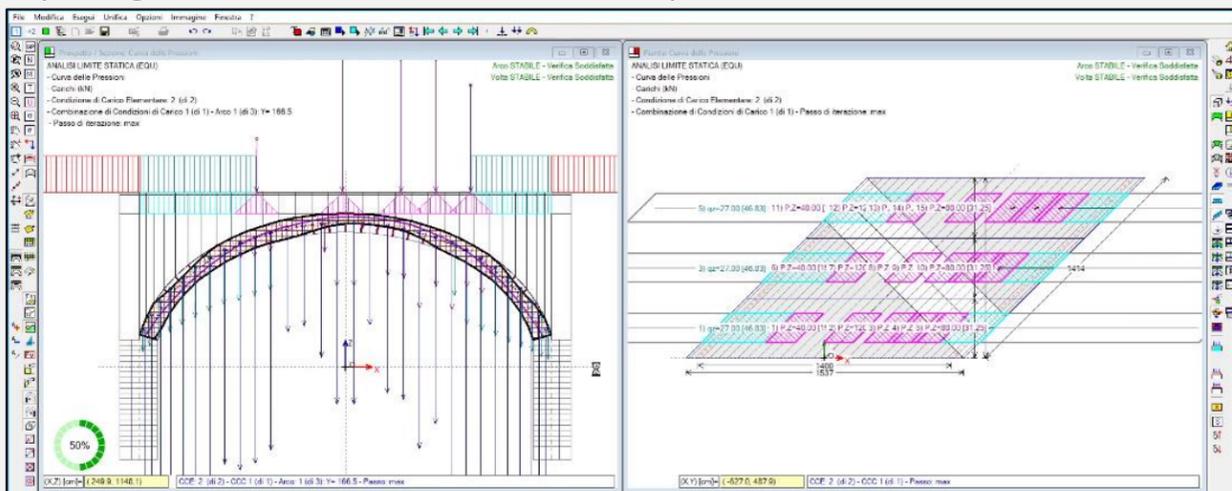
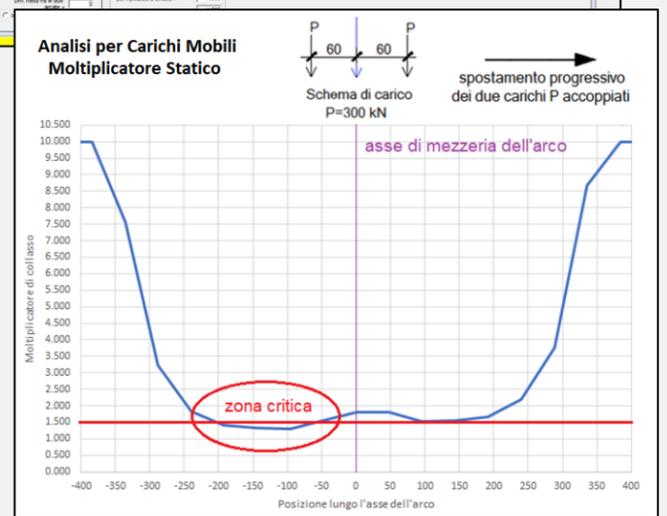
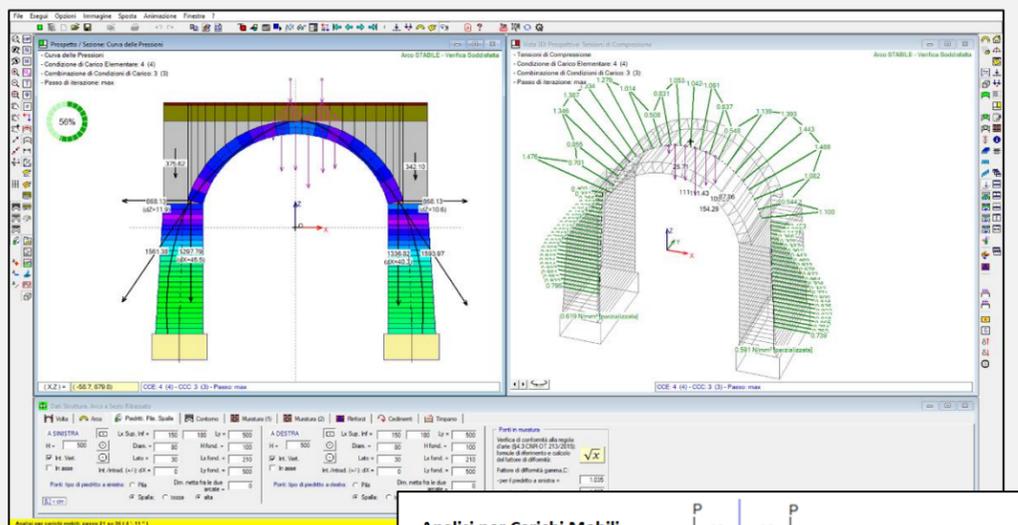
Aedes versioni 2025

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.



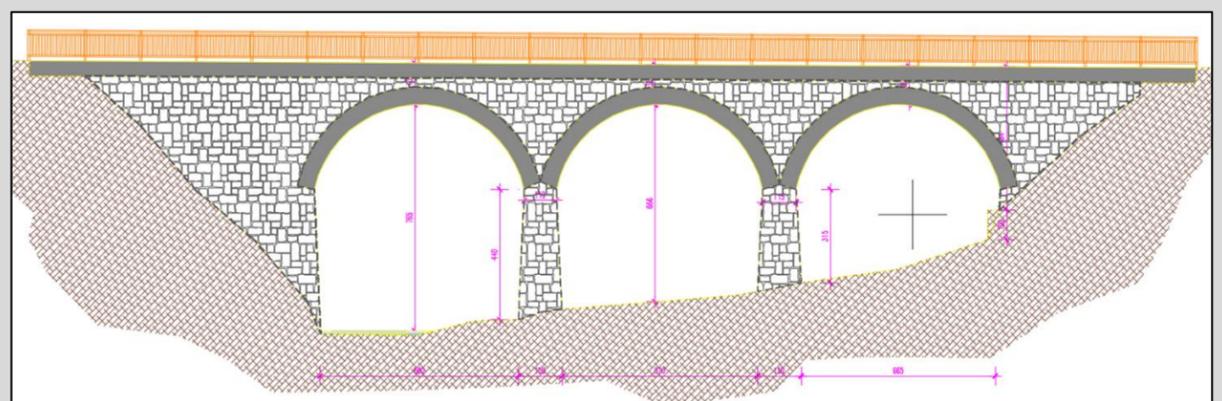
[Scopri di più sull'analisi per carichi mobili in Aedes.SAV, attraverso questo video esplicativo](#)

Aedes.SAV 2025

Funzionalità avanzate per ponti stradali e ferroviari

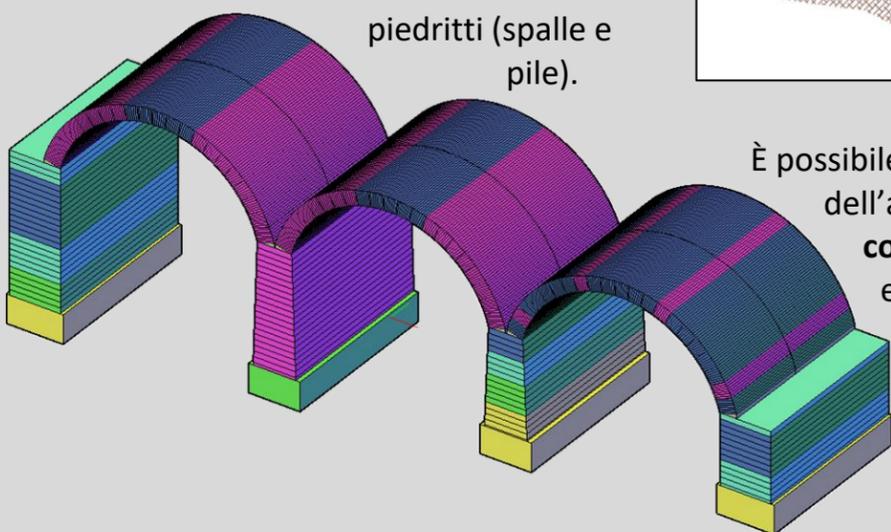
Ponti multicampata

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.

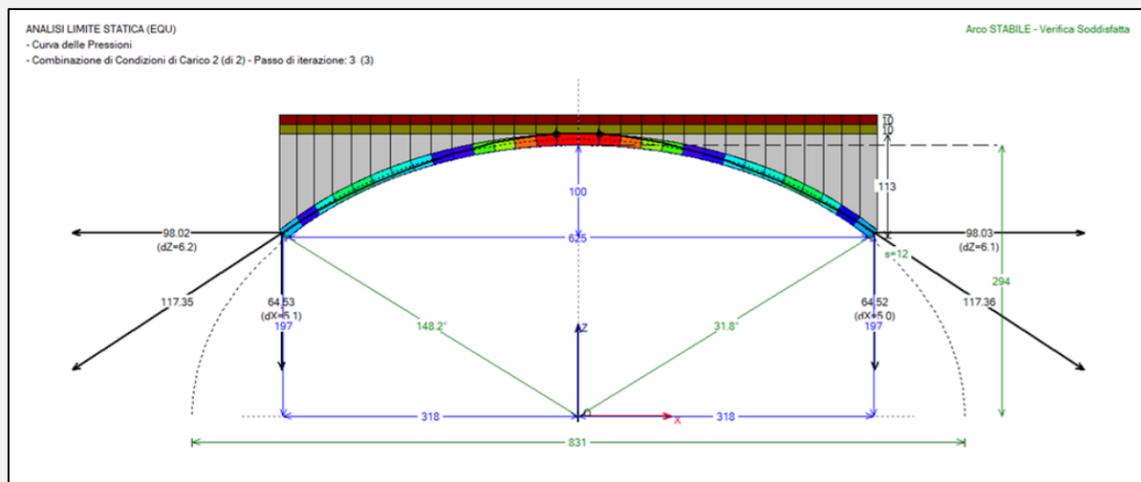
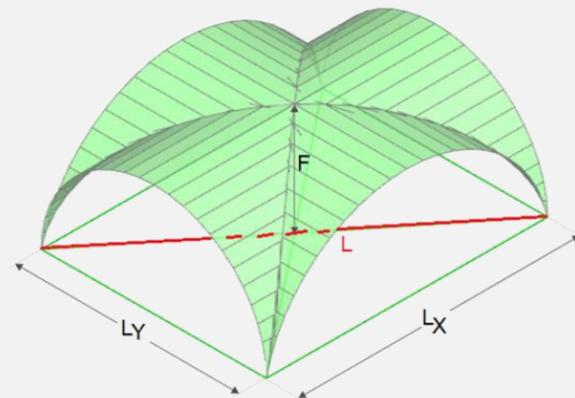
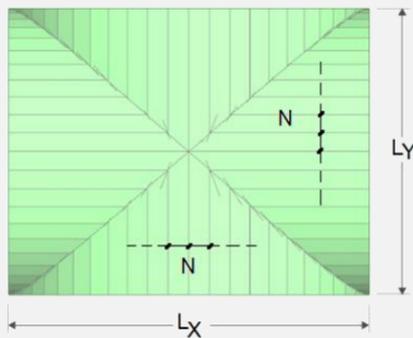


Aedes.SAV 2025

Funzionalità avanzate

Volte a Crociera

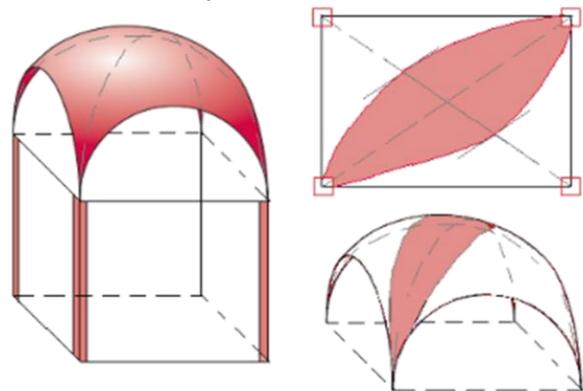
Per le volte a crociera, appositi comandi permettono la **definizione automatica dell'arco diagonale sia dal punto di vista geometrico che da quello dei carichi**, consistenti nelle azioni verticali e nelle spinte applicate dalle lunette ai conci dell'arco diagonale stesso.



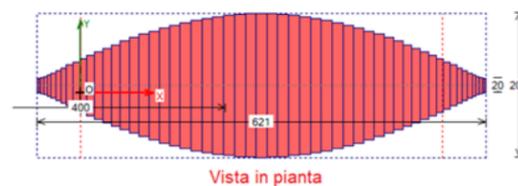
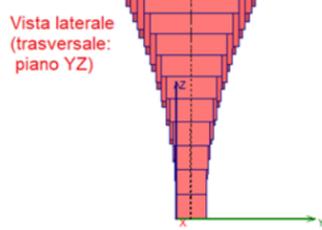
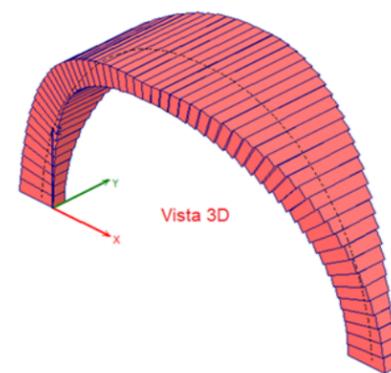
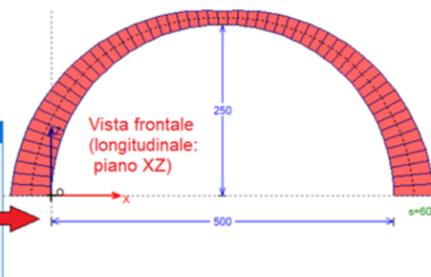
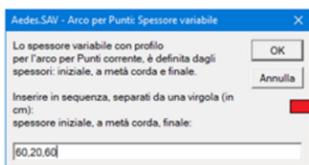
Viene gestita la **forma ellittica dell'arco diagonale**, generato dall'intersezione di due volte a botte (cilindriche) con generatrice circolare.

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

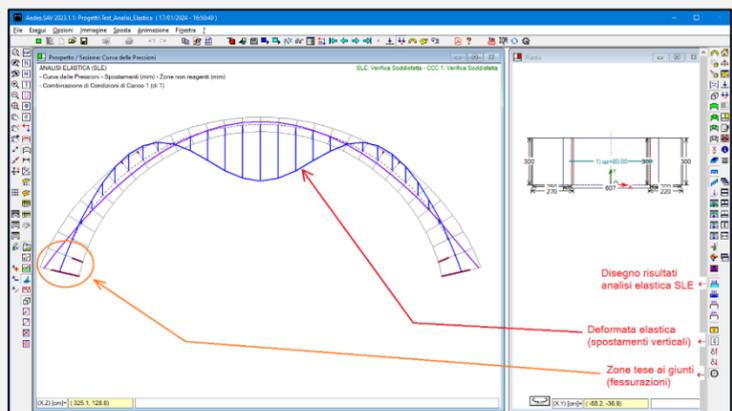


studio di archi a profilo variabile, in grado di rappresentare i principali elementi strutturali costitutivi delle volte spaziali (ad esempio, per una **volta a vela**).



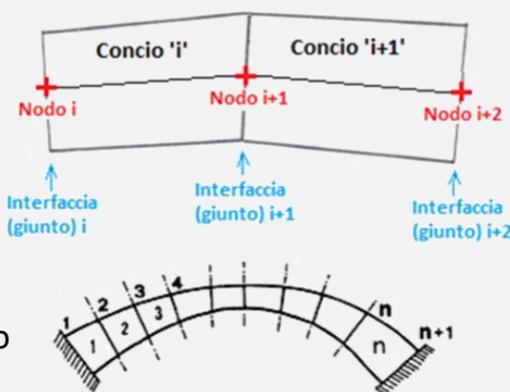
Mediante comandi dedicati, il profilo variabile può essere elaborato agevolmente internamente a SAV a partire da una tipologia notevole, ad esempio un arco a tutto sesto.

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.



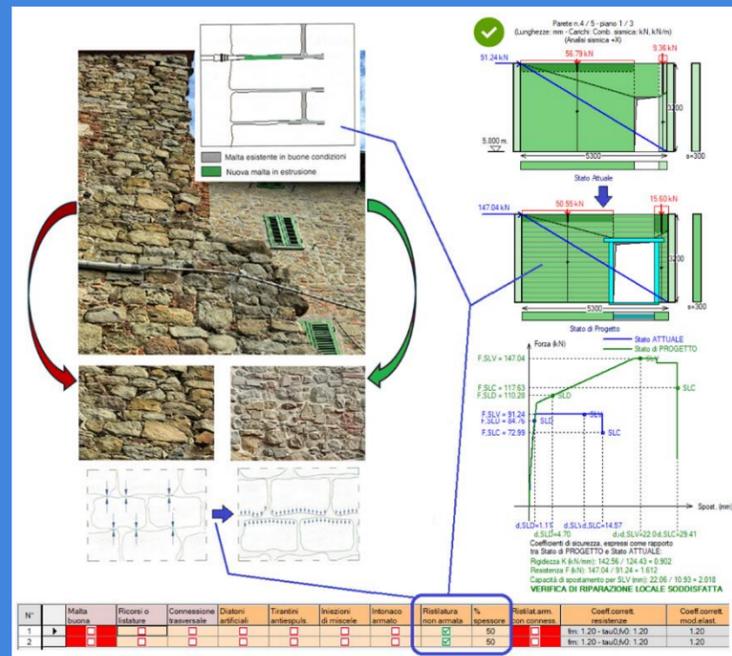
Aedes.ACM 2025

Interventi locali su murature scadenti: disgregazione, ristilatura dei giunti

Il fenomeno della **disgregazione** è evidenziato esplicitamente nei contenuti della Normativa Tecnica. In §C8.7.1.2.1, dedicato all'analisi dei meccanismi locali, si specifica che “la rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di disgregazione”.

Aedes.ACM 2025 consente per la prima volta di tenere conto di tale aspetto nella verifica di sicurezza condotta nell'ambito di un intervento locale.

La corretta progettazione di un intervento, condotta confrontando il comportamento della parete prima e dopo l'intervento, richiede la valutazione della possibilità di disgregazione, fenomeno particolarmente temibile quando si inseriscono telai di cerchiatura per nuove aperture in murature di scarsa qualità.



Una parete soggetta a possibile disgregazione deve essere modellata tenendo conto del comportamento fragile corrispondente a tale meccanismo.

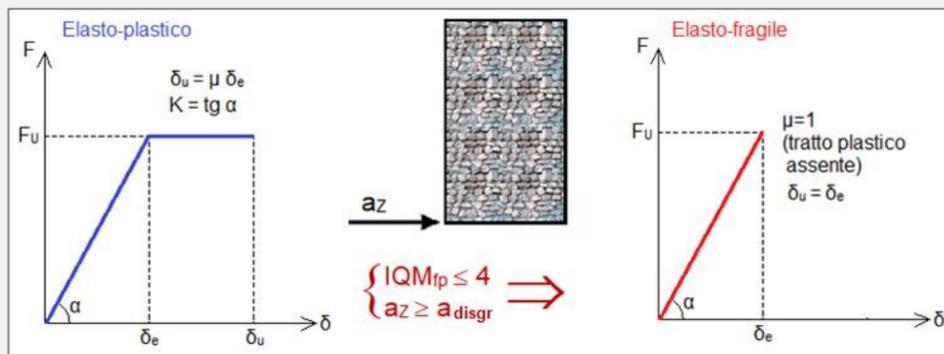


Fig. 1 - Muratura in pietraforte fortemente degradata per erosione e decoesione dei giunti di malta. Il degrado avanzato delle malte può provocare il distacco dei blocchi lapidei con instabilizzazione e caduta degli stessi.

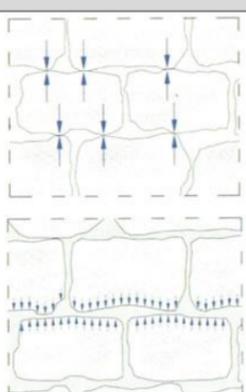


Fig. 2 - In mancanza di malta, il contatto tra i conci è di tipo puntuale e le forze che vengono scambiate assumono valori anche molto elevati. La presenza della malta interposta tra i conci, al contrario, consente di realizzare un appoggio continuo contribuendo così a ripartire le forze di contatto.

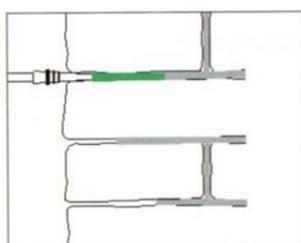


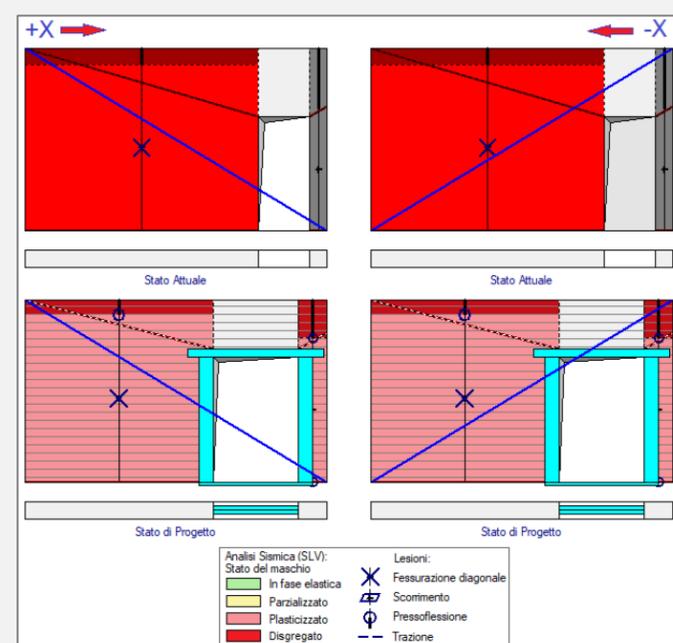
Fig. 4 - Schema di intervento

In tali casi, la rigenerazione della muratura, ad esempio tramite ristilatura profonda dei giunti di malta, è da considerarsi indispensabile.

La Normativa vigente, pur considerando esplicitamente il meccanismo di disgregazione e l'intervento di ristilatura dei giunti non armata, non fornisce per tali aspetti modalità di calcolo specifiche.

La Ricerca condotta da Aedes ha reso disponibile per il software ACM criteri di calcolo coerenti con le indicazioni normative, attraverso i seguenti punti:

- definizione del comportamento elasto-fragile di pareti soggette a possibile disgregazione
- calibrazione dei coefficienti correttivi per la ristilatura non armata dei giunti

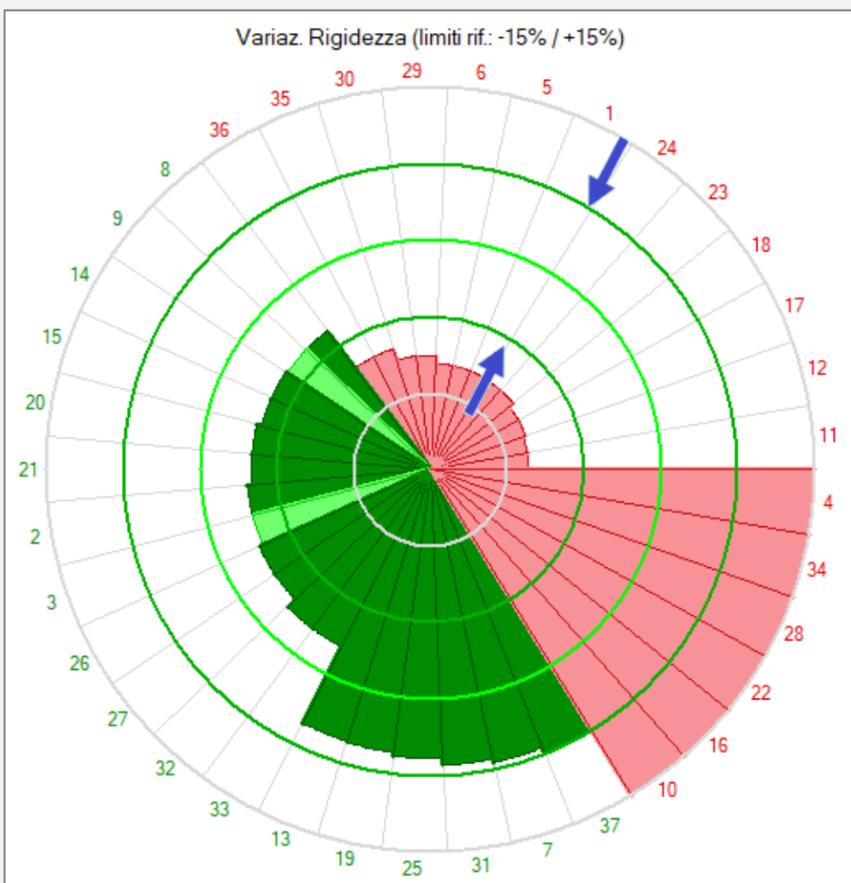
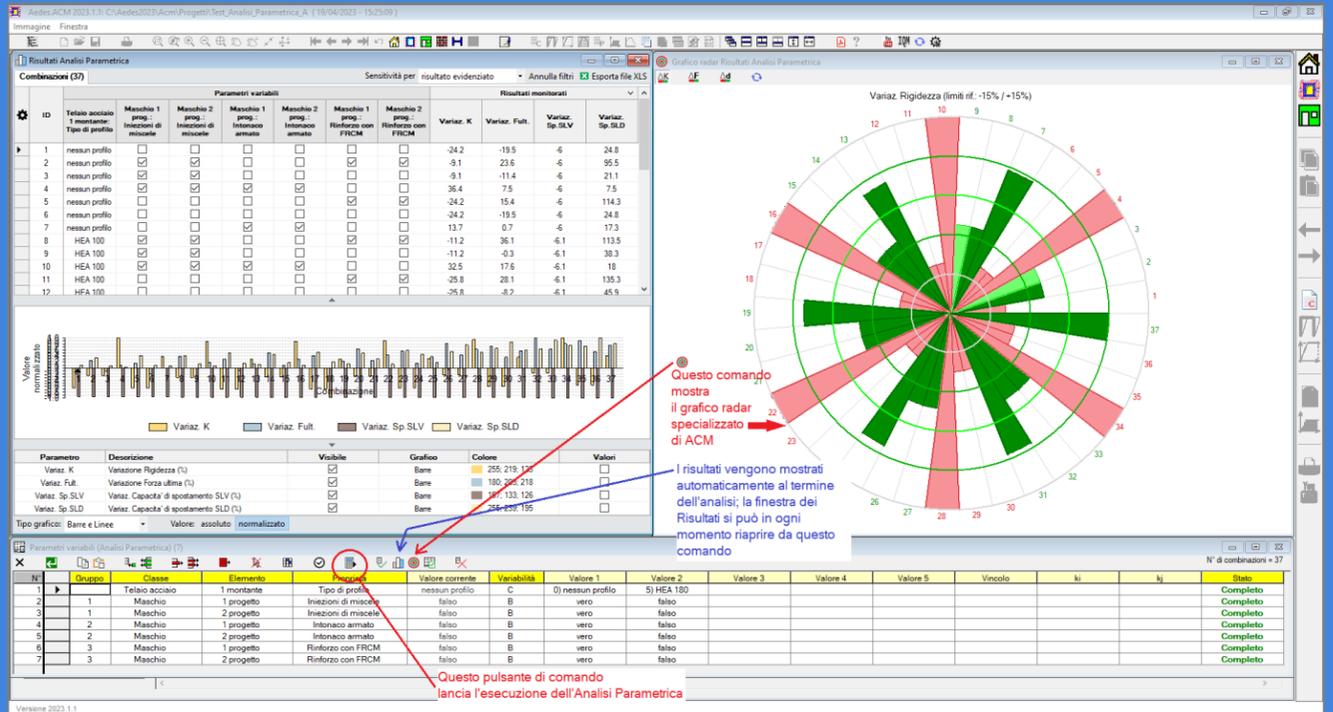


Verifica di una parete: disgregazione allo stato attuale, rigenerazione della malta allo stato di progetto

Aedes.ACM 2025

Analisi Parametrica: ottimizzazione dell'intervento locale

Aedes.ACM propone l'Analisi Parametrica, cioè l'elaborazione automatica di una serie di verifiche di sicurezza, in termini di rigidità, resistenza e capacità di spostamento, considerando la variazione di alcuni parametri definiti dall'utente. Attraverso l'Analisi Parametrica è possibile ottimizzare il progetto di consolidamento a seguito delle modifiche su pareti in muratura, e inquadrare correttamente i tipi di intervento che rispettano i criteri per la Riparazione Locale.

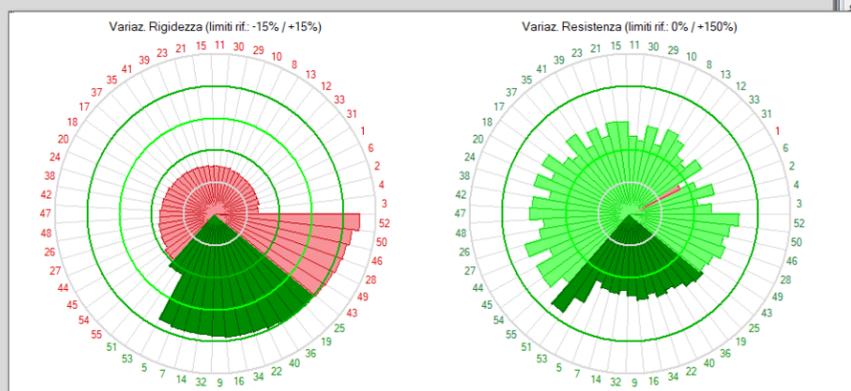


Scelto un insieme di parametri variabili di progetto, si generano N combinazioni, ciascuna analizzata dall'Analisi Parametrica: in un **grafico radar specializzato**, consistente in un istogramma circolare, gli spicchi corrispondenti alle singole combinazioni vengono colorati con riferimento a due cerchi interni che determinano la zona di verifica di sicurezza soddisfatta.

I principali risultati del software ACM consistono nelle **variazioni tra Stato Attuale e Stato di Progetto di rigidità, forza ultima e capacità di spostamento**: queste vengono confrontate con i limiti accettabili per un intervento di riparazione locale, corrispondenti ai limiti definiti in input nella finestra Pareti (scheda Calcolo(1)). Ad esempio, per la rigidità si adottano frequentemente i limiti inferiore -15% e superiore +15%.

Le applicazioni dell'Analisi Parametrica non riguardano solo la definizione degli interventi per lo Stato di Progetto. Ad esempio, l'analisi può essere utilizzata per conoscere gli effetti di parametri incerti sui materiali.

Un esempio è la malta della muratura esistente, che potrebbe essere qualificata standard, oppure peggiore (malta scadente) o migliore (malta buona). I risultati dell'analisi mostrano l'influenza della qualità della malta sul comportamento della parete.



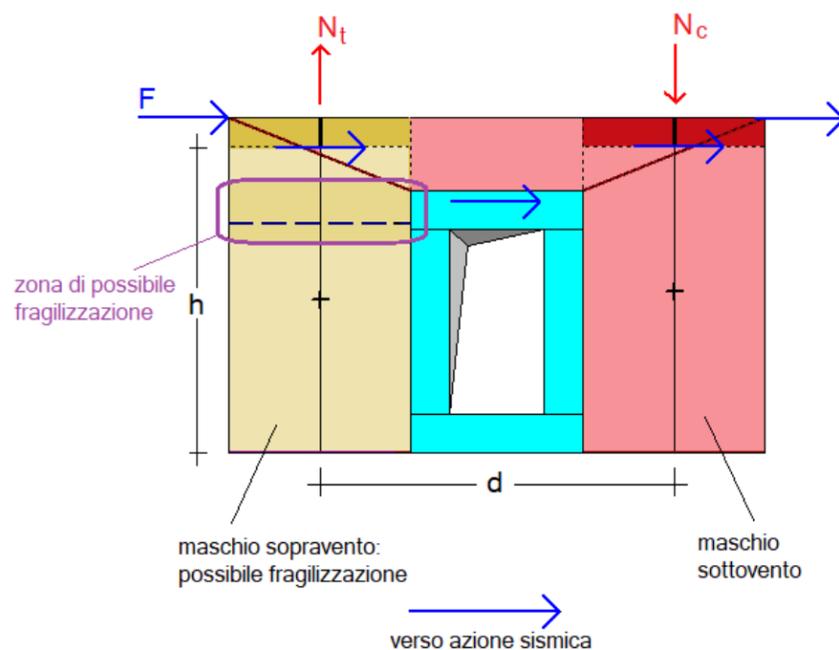
ID	Parametri variabili											Risultati monitorati														
	Telaio acciaio 1 montante: Tipo di profilo	Maschio 1 prog.: Iniezioni di miscela	Maschio 2 prog.: Iniezioni di miscela	Maschio 1 prog.: Intonaco armato	Maschio 2 prog.: Intonaco armato	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCCM	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCCM	Maschio 1 prog.: Intonaco armato	Maschio 2 prog.: Intonaco armato	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCCM	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCCM	Variaz. K	Variaz. Fult.	Variaz. Sp.SLV	Variaz. Sp.SLD											
3	HEA 140											-25.1	40.8	-6.2	123.5											
4	HEA 140											-25.1	9.2	-6.2	66.9											
2	HEA 140											-24.3	51.5	-6.2	161.7											
6	HEA 140											-24.3	15.2	-6.2	127.8											
1	nessun profilo											-24.2	-19.5	-6	24.8											
31	HEB 140											-24	47.7	-6.2	133.1											
33	HEB 140											-24	16.1	-6.2	105.9											
12	HEA 160											-23.9	24.5	-6.2	193.4											
13	HEA 160											-23.9	54.2	-6.2	138.2											
8	HEA 140											-23.4	66.1	-6.2	183.8											
10	HEA 140											-23.4	23	-6.2	206.9											
29	HEB 140											-22.8	59.5	-6.2	172.2											
30	HEB 140											-22.8	23.1	-6.2	154.9											
11	HEA 160											-22.6	32.8	-6.2	240.6											
15	HEA 160											-22.6	66.9	-6.2	178.9											
21	HEA 180											-22.2	69	-6.3	164											
23	HEA 180											-22.2	39.4	-6.3	240.4											
Δ' Variaz. K												1.835	0.194	0.194	0.194	0.143	0.143	0.143	1.625	1.625	1.343	1.343				

Aedes.ACM 2025

Funzionalità avanzate e procedure di validazione

Controllo di fragilizzazione dei maschi sopravento

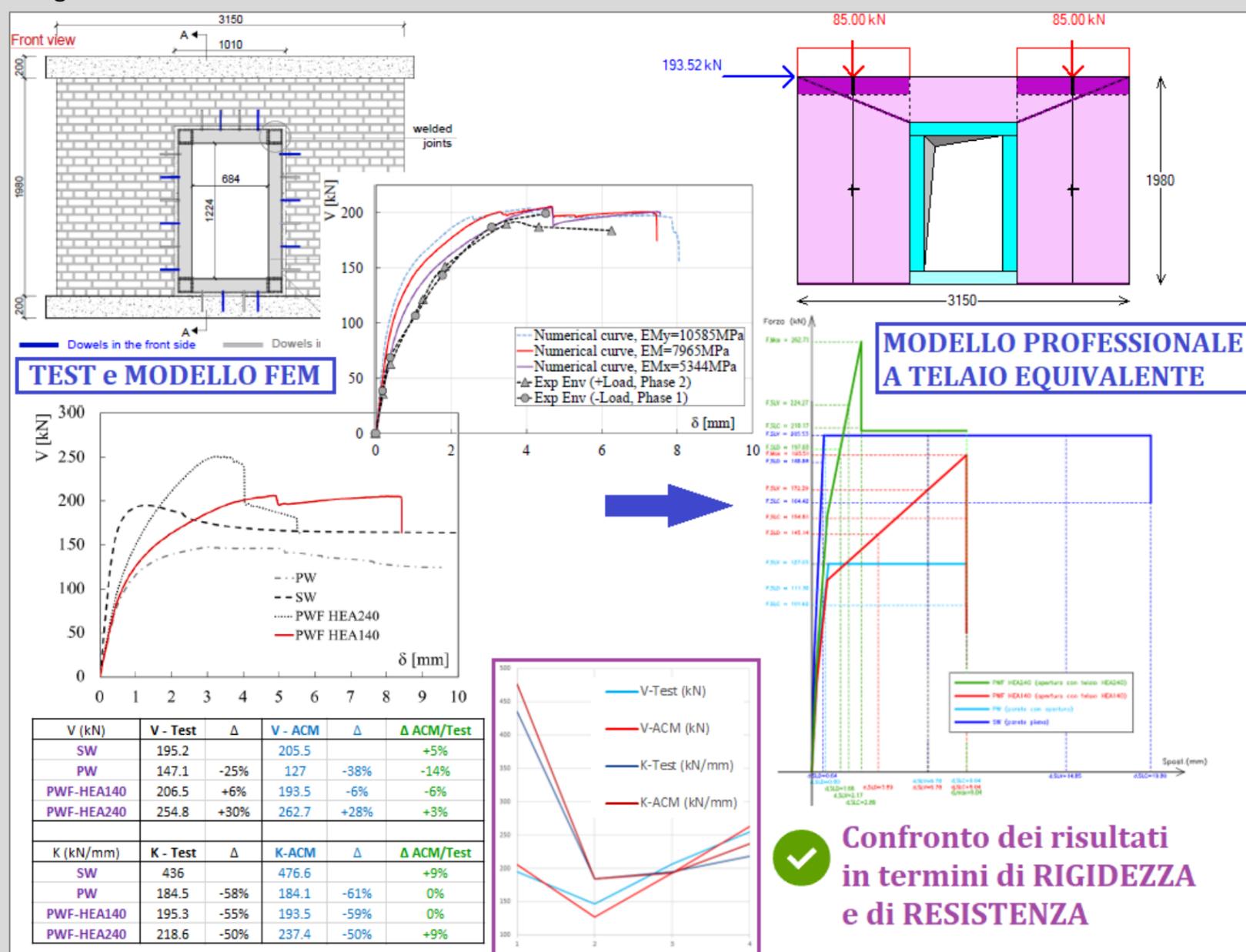
Aedes.ACM propone la **gestione della crisi per trazione** che può insorgere in un maschio murario adiacente ad un telaio di cerchiatura qualora il **telaio** abbia **resistenza eccessiva** e tenda ad assorbire tutta la forza sismica orizzontale. Grazie a questo controllo, profili del telaio troppo resistenti rispetto alle murature adiacenti non soddisfano la verifica di riparazione locale. La **forza di fragilizzazione del maschio sopravento** limita la forza orizzontale massima esplicabile dal telaio di cerchiatura, con conseguente caduta di taglio nella curva di capacità complessiva della parete. Ne deriva così la **necessità di un nuovo dimensionamento del telaio**, in grado di garantire un miglior comportamento complessivo della parete.



Validazione: confronto con test sperimentali e teorici

Con riferimento ad un test sperimentale condotto presso l'Università di Brescia, supportato da un modello teorico avanzato, le **funzionalità del metodo a telaio equivalente** implementate nel software Aedes.ACM dimostrano:

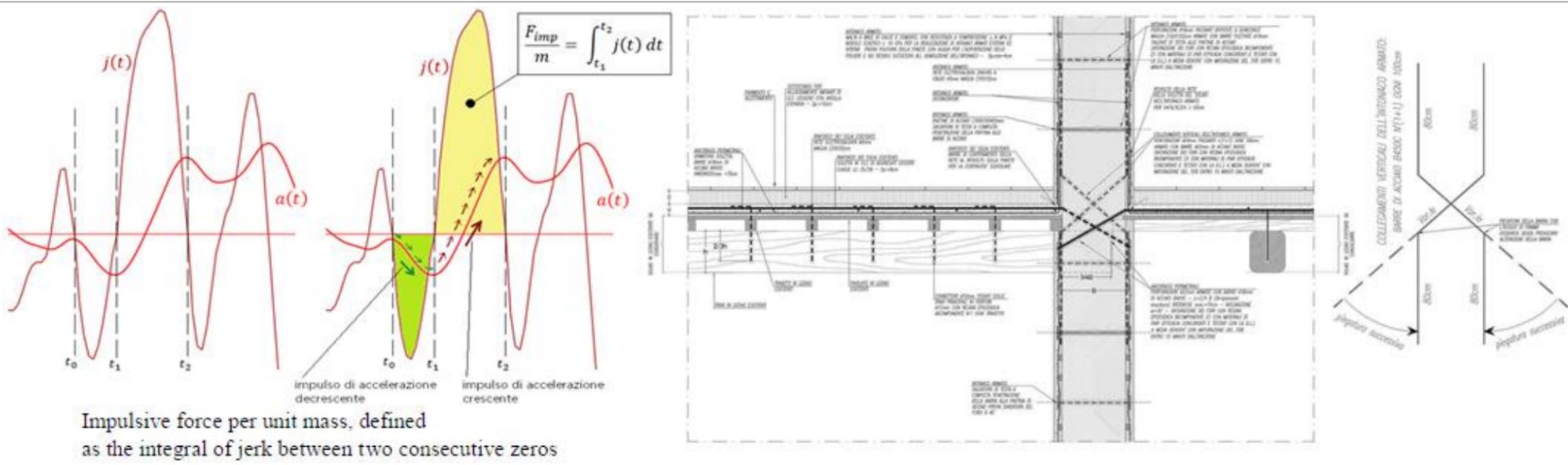
- la **corretta rappresentazione dei risultati** sperimentali e numerici ottenuti dal test
- la possibilità di individuare una **soluzione progettuale efficace** e rispondente ai requisiti di sicurezza richiesti dalla Normativa vigente.



In campo professionale, l'analisi degli interventi sulle pareti in muratura, con creazione o spostamento di aperture e conseguenti realizzazioni di rinforzi con telai o altre tecnologie, può svolgersi in modo corretto ed efficace con il metodo del telaio equivalente, senza necessità di ricorrere a metodi FEM non lineari avanzati.

✓ Confronto dei risultati in termini di RIGIDEZZA e di RESISTENZA

Aedes versioni 2025



Aedes.SLC 2025

Azioni sismiche impulsive ed effetti sui nodi di collegamento

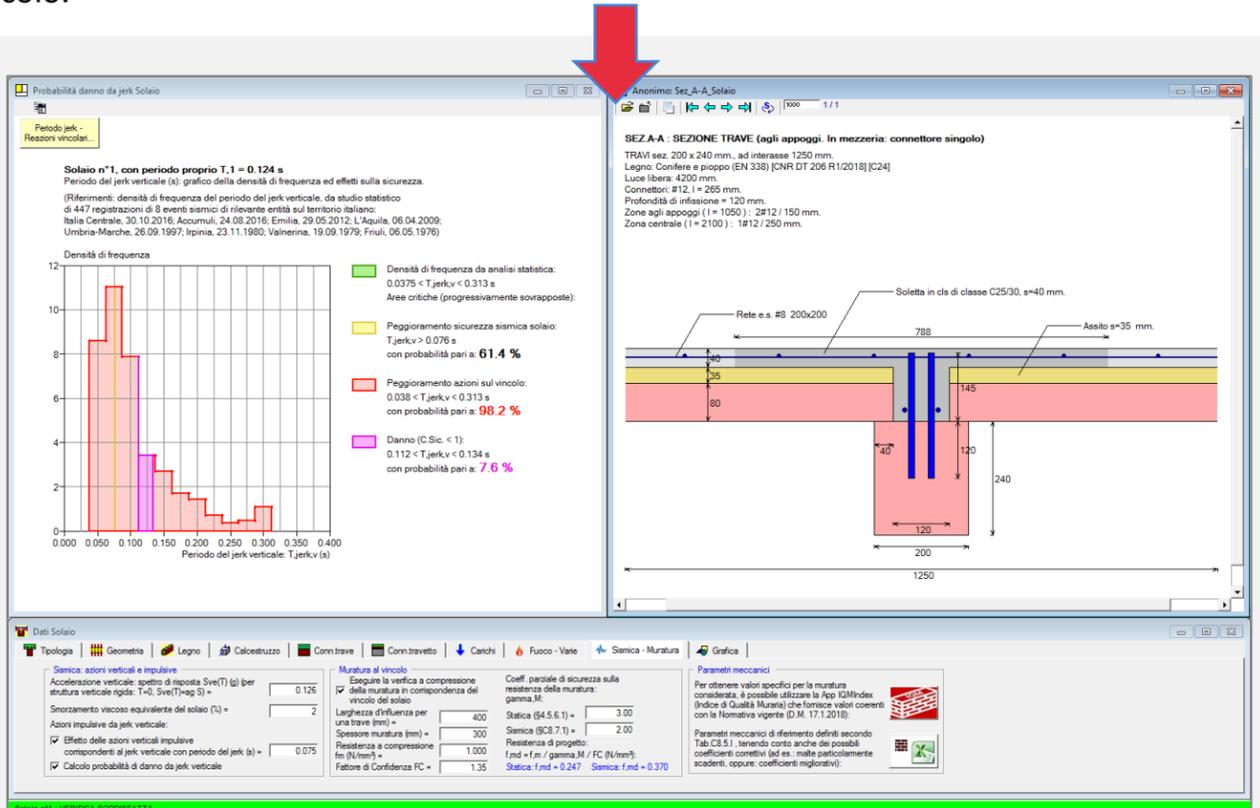
Immagine tratta dall'articolo scientifico: Mariani M., Pugi F.: Effects of impulsive actions due to seismic jerk and local failures in masonry structures, EuroDyn 2020, Athens, Greece, 23-26 November 2020

Il jerk, derivata prima dell'accelerazione, è la componente fondamentale delle azioni impulsive corrispondenti al contenuto in alta frequenza del moto sismico. Il susseguirsi continuo delle variazioni di accelerazione per intensità e per direzione nel corso dell'evento sismico, determina **impulsi** (martellamento, scrollamento, scuotimento, ecc.) che, nelle strutture in muratura, **generano crisi locali delle connessioni**, fenomeni disgregativi e accumulo del danno con riduzione progressiva della duttilità.

Nei solai, la struttura può essere interessata da un'amplificazione delle sollecitazioni, con repentine ed istantanee variazioni, qualora la sua frequenza principale sia 'vicina' a quella del jerk. Gli **effetti di risonanza** possono impegnare notevolmente la struttura orizzontale, che a sua volta trasmette azioni al vincolo incrementate in modo significativo rispetto ai valori statici e continuamente soggette, durante l'evento sismico, a sbalzi in aumento e in diminuzione. Le **strutture resistenti del vincolo** (muratura, connessioni) risultano così soggette ad uno 'stress' legato a questo fenomeno di martellamento e così anche se il solaio di per sé è in grado di sostenere le sollecitazioni, può invece generarsi una crisi nel dispositivo di vincolo.

In particolare, per un solaio in legno-calcestruzzo nato come operazione di consolidamento, queste considerazioni suggeriscono l'opportunità di **intervenire non solo dal lato solaio ma anche su tutto il nodo strutturale**, coinvolgendo la capacità della muratura almeno per tratti significativi inferiore e superiore rispetto alla quota dell'orizzontamento, in modo da garantire una diffusione senza danni delle tensioni generate dalle azioni locali di martellamento.

In sintesi, il progetto di consolidamento deve prendere in considerazione la probabilità che il contenuto impulsivo dell'azione sismica possa danneggiare il solaio o ancor più il vincolo: è pertanto opportuna una quantificazione del fenomeno. Per i solai misti in legno e calcestruzzo, Aedes.SLC consente **l'analisi delle probabilità di danno per azioni sismiche impulsive**, calcolata in base al comportamento dinamico del solaio.



Aedes.SLC: Analisi degli effetti delle azioni sismiche impulsive sul nodo solaio - parete muraria

App IQMIndex

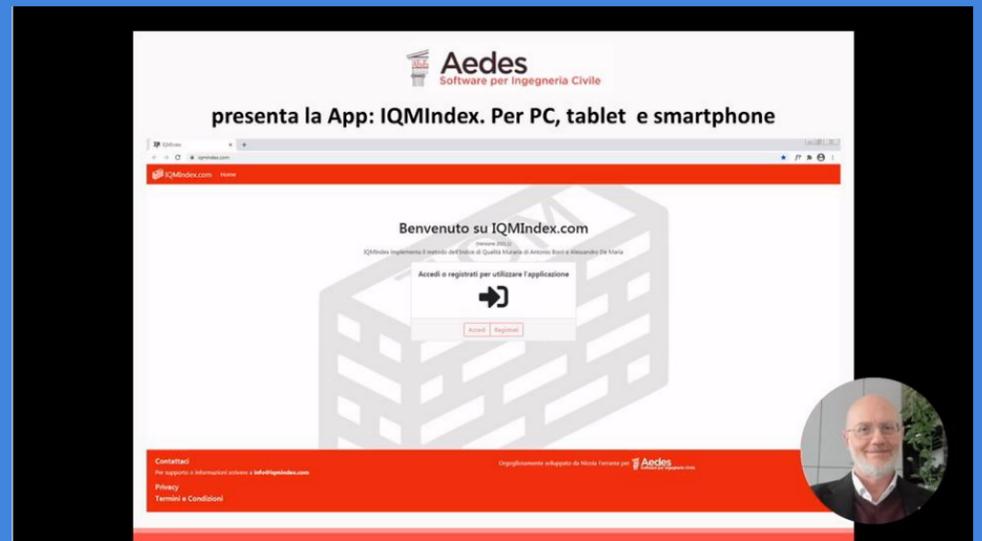
Indice di Qualità Muraria

I software AEDES propongono il collegamento alla App **IQMIndex**, dedicata all'**Indice di Qualità Muraria**: un parametro molto, molto importante ai fini della corretta valutazione delle capacità meccaniche delle murature esistenti: www.iqmindex.com

La **App**, creata da **AEDES Software**, con il contributo teorico degli Autori del metodo (Prof. Ing. Antonio Borri e Ing. Alessandro De Maria, con la collaborazione dell'Ing. Giulio Castori) è destinata a tutti gli strutturisti italiani che si occupano di analisi di **edifici esistenti in muratura**, e può essere utilizzata sia su **desktop** sia nello **smartphone**.

L'utilizzo della App è TOTALMENTE GRATUITO: in tal modo AEDES desidera contribuire alla diffusione generale delle

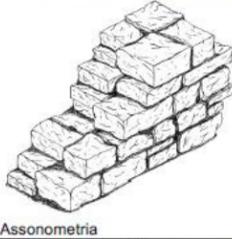
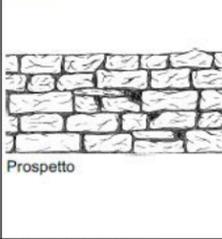
corrette metodologie di valutazione di capacità delle murature esistenti, nell'ottica di una crescita culturale condivisa.



Studiando gli eventi sismici che periodicamente hanno interessato il nostro territorio, **quante volte abbiamo visto immagini di murature crollate, a volte con meccanismi di collasso geometricamente riconoscibili, molto spesso con disgregazioni che hanno originato crolli caotici** quasi che gli elementi costitutivi della muratura, abbandonato il legame dato da malte ormai incapaci di coesione, tornino alla loro condizione originaria di ammassi di pietrame, talvolta con immagini che assomigliano a detriti di frane rocciose. Più raramente si sono osservati comportamenti globali con lesioni a taglio e pressoflessione.

Tuttavia, proprio le analisi cinematiche e soprattutto il comportamento globale sono oggetto della maggior attenzione: ad esse corrispondono le elaborazioni più complesse, quali la pushover, oggi molto evoluta ma tale da richiedere capacità modellative e interpretative avanzate e comunque tale da rivestire significato solo quando l'edificio è in sicurezza nei confronti dei meccanismi disgregativi e di quelli cinematici.

Il grado di attendibilità delle modellazioni è fortemente **condizionato dalla conoscenza dei valori reali dei dati in input**, in primis le caratteristiche meccaniche delle murature.

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA										NUM. 06			
										FOTO			
									SCHEMI				
<p>Assonometria</p> <p>Muratura di blocchi di pietra squadrata a doppio paramento.</p> <p>Muratura interna ed esterna realizzata con blocchi di pietra squadrata con buona tessitura muraria, rispetto dei filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali approssimativo, presenza di diatoni mai completamente passanti e in percentuale ridotta rispetto alla superficie muraria.</p> <p>Pietre calcaree di vario tipo: calcare bianco e rosato.</p> <p>Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana, risulta poco compatta.</p> <p>Pietra serena del Trasimeno: colore grigiastro con infiltrazioni marronastre.</p> <p>Malta di calce e sabbia, scadente. Presenza di zeppe.</p>												DESCRIZIONE MATERIALI	
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 12 ÷ 25 cm</p> <p>h = 8 ÷ 18 cm</p> <p>l = 15 ÷ 30 cm</p>										GEOMETRIA			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano				Nel piano
PR	PR	R	NR	R	R	PR	Metodo punteggi	A	B	A			
								LMT (sezione)	126	138			
<p>Il paramento interno è di qualità inferiore con pietre più piccole e giunti verticali spesso non allineati. Si tiene conto di ciò mediando i giudizi sui parametri della regola dell'arte.</p>								IQM	7	6,5	5,5		
Parametri meccanici: valori MIN-MAX								f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)			
								476-715	1949-2700	6,4-9,2			

Quali sono i valori corretti da specificare per le proprietà meccaniche? Siamo costretti a forzare i parametri in input con i valori di riferimento proposti dalla tabella normativa? La muratura oggetto di analisi sarà effettivamente in grado di sostenere azioni statiche e sismiche con comportamenti organici fra i diversi elementi strutturali? **Potrà disgregarsi**, annullando ogni capacità di resistenza geometrica (tipo meccanismi) o di comportamento d'insieme (tipo collaborazione fra pareti portanti)?

L'Indice di Qualità Muraria offre una risposta di grande rilievo a queste domande, e ci conduce verso una valutazione che, partendo dal rispetto delle regole dell'arte muraria, costituisce una fotografia attendibile delle reali particolari proprietà della muratura esaminata. Tutto ciò in piena coerenza con la Normativa vigente.

La scelta dei parametri meccanici (resistenze, moduli di elasticità) non sarà più quindi di fatto limitata alle tipologie di riferimento della tabella normativa: si potranno ottenere informazioni specifiche sulla muratura dell'edificio in esame.