Aedes
Software per Ingegneria Civile

presenta

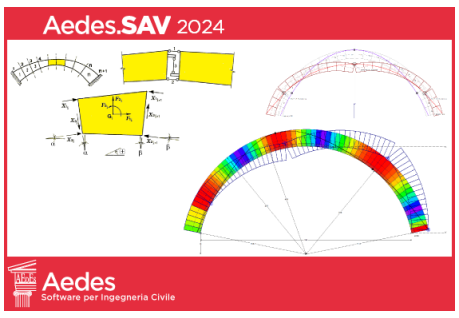
Aedes versioni 2024

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

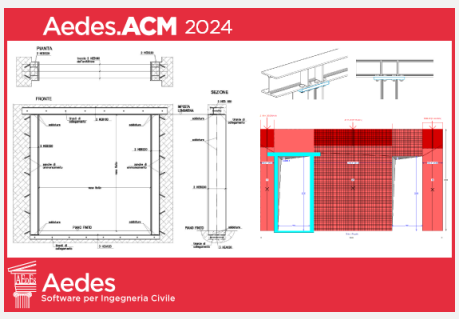
Aedes.**PCM** 2024

- Analisi pushover: **metodo Incrementale-Iterativo**
- **Volte**: nuove tipologie e calcolo del peso proprio
- Muri **inclinati** e **rastremati**
- Analisi cinematica: **discretizzazione** e **scostamento**



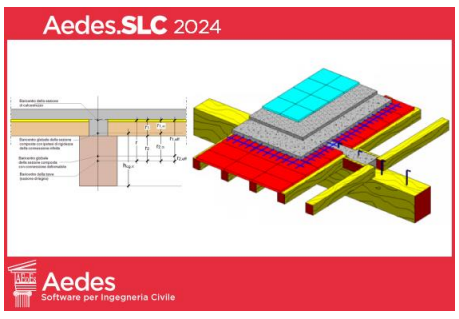
Aedes.**SAV** 2024

- **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.**
- Analisi di **volte a crociera** e **volte a vela**: archi a **profilo variabile**
- **Analisi Elastica** per Stato Limite di Esercizio



Aedes.**ACM** 2024

- **Analisi parametrica**: ottimizzazione dell'intervento locale
- **Controlli di fragilizzazione** di maschi adiacenti a telai
- **Validazione**: confronto con test sperimentali e teorici
- **Limiti su variazioni** di rigidezza, resistenza e spostamento



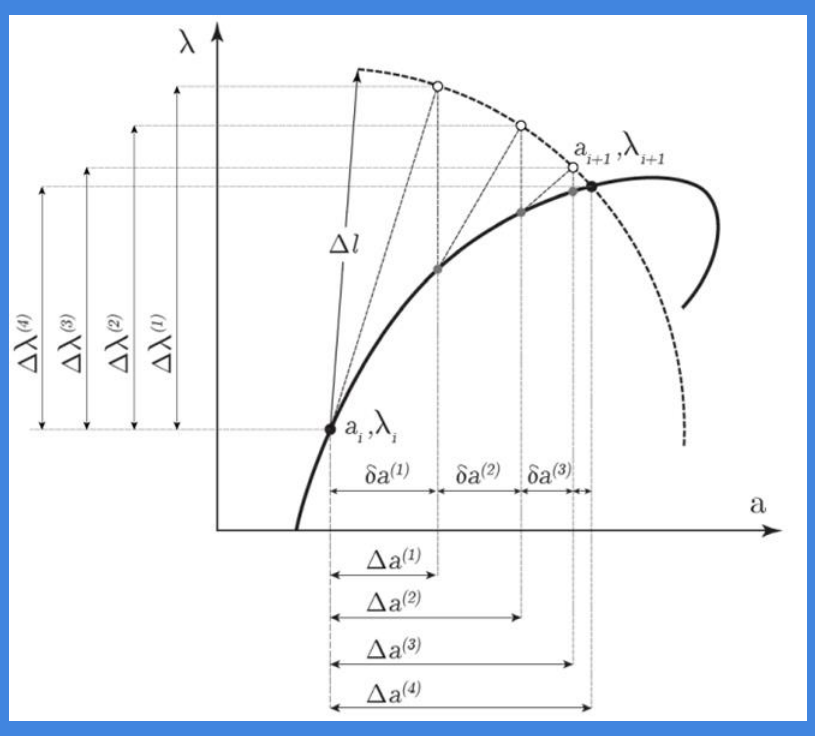
Aedes.**SLC** 2024

- **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 2024

Analisi Pushover: metodo Incrementale-Iterativo

Aedes.PCM 2024 introduce un nuovo metodo risolutivo per l'Analisi Pushover: il **metodo Incrementale-Iterativo**, che si affianca al già esistente metodo Incrementale. Questo nuovo metodo, basato sulla combinazione di **incrementi di forza e iterazioni in controllo di spostamento**, costituisce una soluzione avanzata per valutare con maggiore efficienza e precisione la risposta sismica degli edifici.

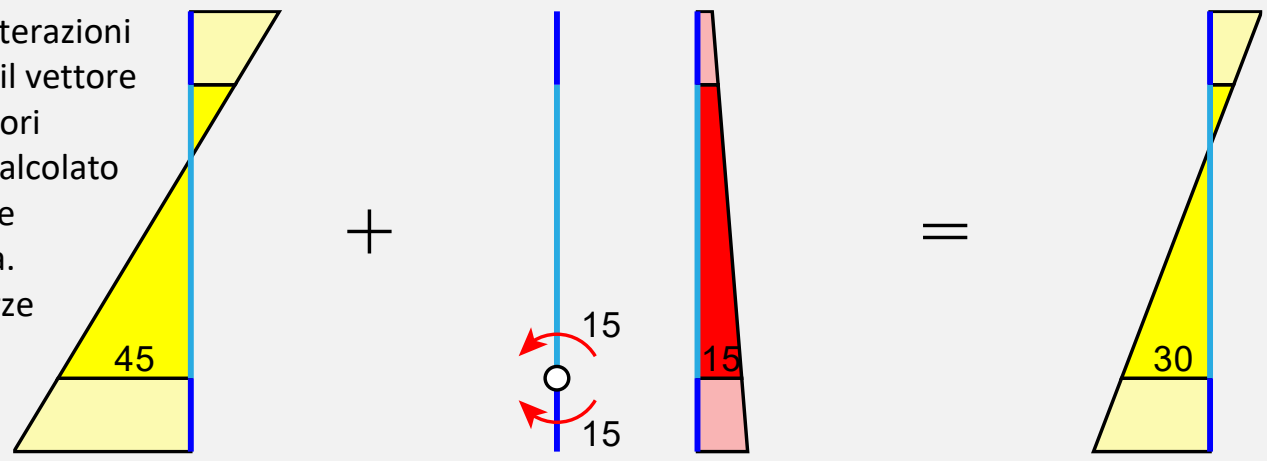


Nel nuovo metodo Incrementale-Iterativo, ogni passo dell'analisi consiste in un incremento di carico esterno seguito da successive iterazioni per ristabilire l'equilibrio tra il carico esterno e le forze interne (sollecitazioni nelle aste). Le iterazioni adeguano l'incremento di taglio tenendo costante lo spostamento del punto di controllo. Per questa loro caratteristica si parla di iterazioni a spostamento costante o iterazioni in controllo di spostamento (Displacement control). Il metodo **Displacement control** può essere considerato come una semplificazione del metodo Arc-Length, che a sua volta è un'estensione del metodo Newton-Raphson.

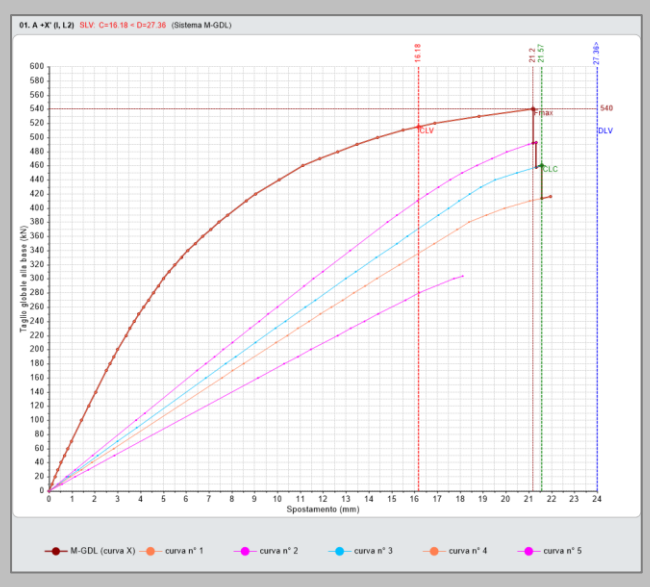
Nell'implementazione del metodo Incrementale-Iterativo le **iterazioni** hanno l'obbiettivo di ristabilire l'equilibrio tra forze esterne e sollecitazioni negli elementi strutturali. In altre parole, per ogni sezione di verifica le iterazioni fanno in modo che la sollecitazione non superi la resistenza.
In Aedes.PCM le iterazioni vengono attivate per i seguenti elementi:

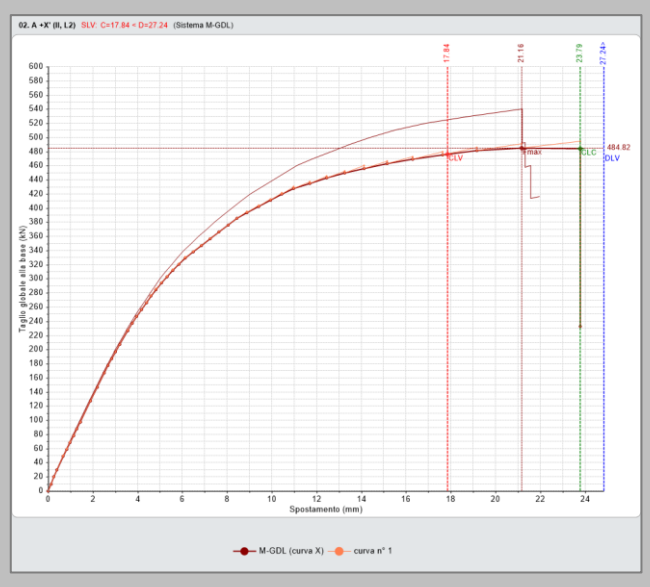
- maschi murari in cui la sollecitazione flettente o tagliante risulti superiore alla resistenza;
- tutti gli elementi in cui si verifica un collasso strutturale, per i quali la resistenza a momento flettente o taglio deve essere annullata o ridotta (ad esempio, raggiungimento della deformazione ultima in un elemento murario o in c.a., oppure crisi fragile per pressoflessione ortogonale nei maschi murari o taglio negli elementi in c.a.).

Un elemento cruciale nello svolgimento delle iterazioni è la valutazione del **vettore residuo** $(\boldsymbol{R})$, cioè il vettore delle forze nodali corrispondente alle azioni fuori equilibrio. In Aedes.PCM, il vettore residuo è calcolato tenendo conto per ogni sezione di verifica delle sollecitazioni in eccesso rispetto alla resistenza. Ad esempio, se in seguito all'incremento di forze esterne, il momento flettente nella sezione di base di un maschio murario supera il momento resistente, l'azione residua è rappresentata da momenti concentrati pari alla differenza tra momento sollecitante e momento resistente. Invece, se il maschio murario raggiunge la deformazione ultima, la sua resistenza flettente si annulla, pertanto, l'azione residua è rappresentata da momenti concentrati di entità pari proprio al momento sollecitante.



A seguire un confronto tra le curve pushover elaborate con il metodo Incrementale (a sinistra) e Incrementale-Iterativo (a destra).





Nella curva con **metodo Incrementale** sono evidenti le curve secondarie (sottocurve) elaborate per poter registrare le cadute di taglio globale in corrispondenza dei collassi di alcuni elementi strutturali.

Nella curva con **metodo Incrementale-Iterativo** sono invece rappresentati ad ogni passo i punti fittizi relativi allo stato della struttura prima delle iterazioni, cioè subito dopo l'incremento di taglio.

Il nuovo metodo Incrementale-Iterativo si contraddistingue per una notevole **efficienza computazionale**, con una riduzione dei tempi di elaborazione che in alcuni casi può raggiungere anche il 70%.

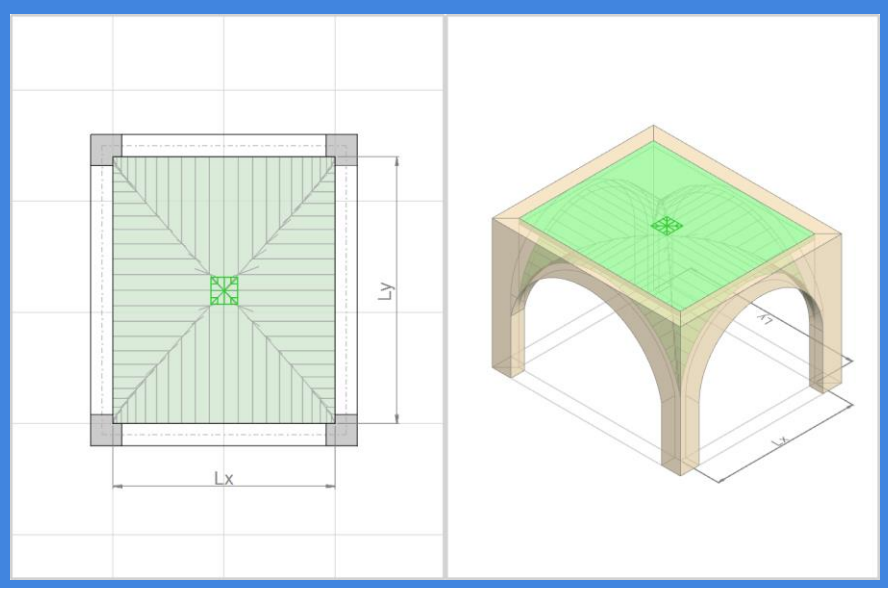
Aedes.PCM 2024

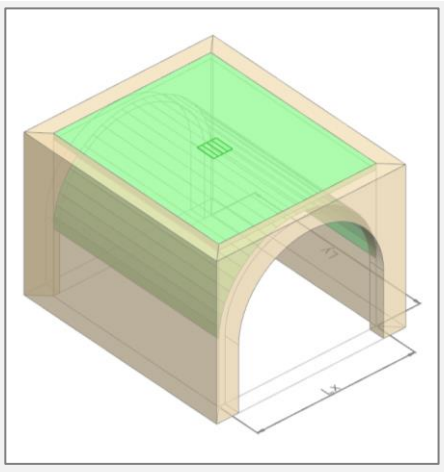
Volte: nuove tipologie e calcolo del peso proprio

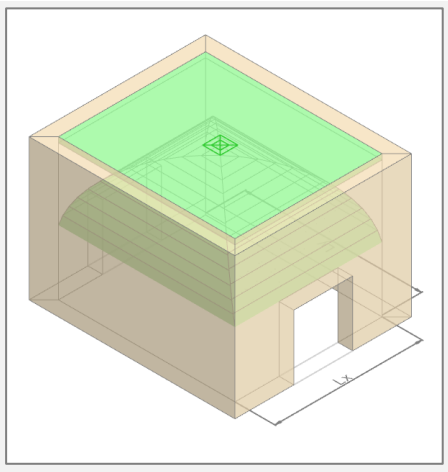
In Aedes.PCM le **volte in muratura** possono essere considerate nel modello per mezzo di solai con tipologia "volta". Questi elementi, al pari di tutti i solai, hanno la funzione di "raccogliere" carico (peso proprio e carichi superficiali) e distribuirlo agli elementi di contorno sottoforma di carichi verticali e (in presenza di spinte) orizzontali.
Aedes.PCM 2024 introduce diverse novità che riguardano i solai e in particolare i solai con tipologia **Volta** e **Cupola**.

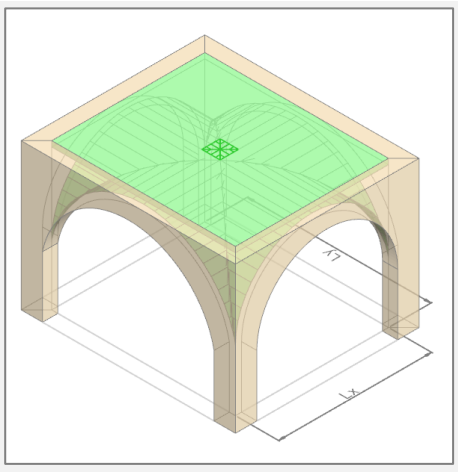
Le nuove tipologie (Volta a crociera, Volta a vela, Cupola e Cupola con pennacchi) richiedono il **modulo ECS** dedicato agli Elementi Costruttivi Storici e monumentali.
La rappresentazione 3D di solai con tipologia volta o cupola include ora la **superficie di intradosso** che permette all'utente di 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:

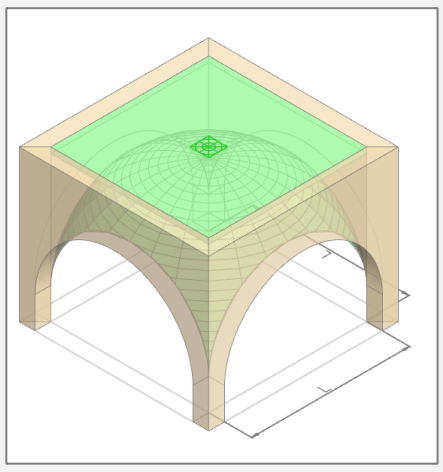
- nel caso di **solai piani e falde**, il peso proprio deve essere **specificato manualmente** dall'utente sotto forma di carico superficiale;
- nel caso di **volte e cupole**, il peso proprio è **considerato automaticamente** dal software sulla base delle proprietà in input.

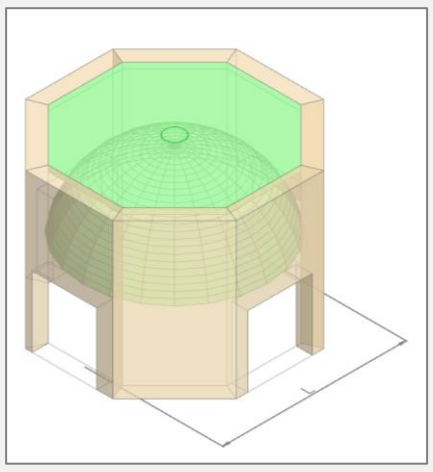


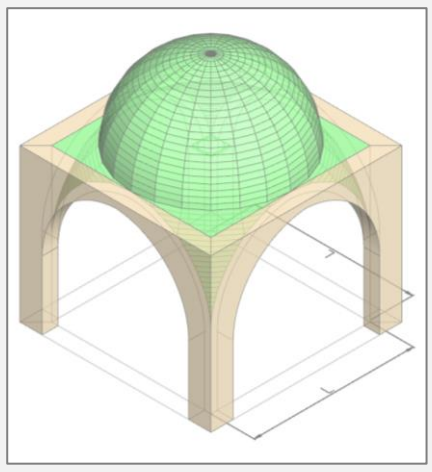

Volta a botte


Volta a padiglione


Volta a crociera

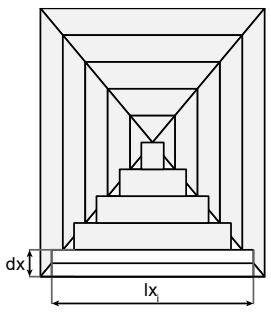

Volta a vela

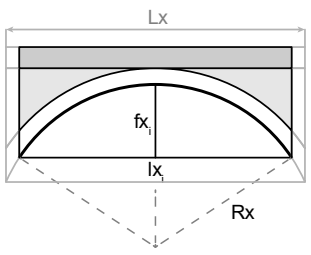

Cupola

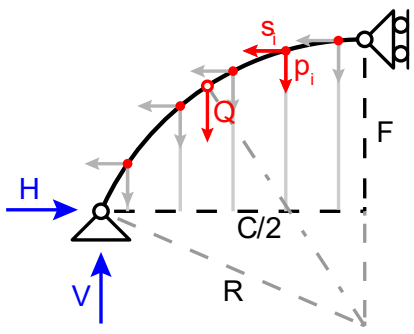

Cupola con pennacchi

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.





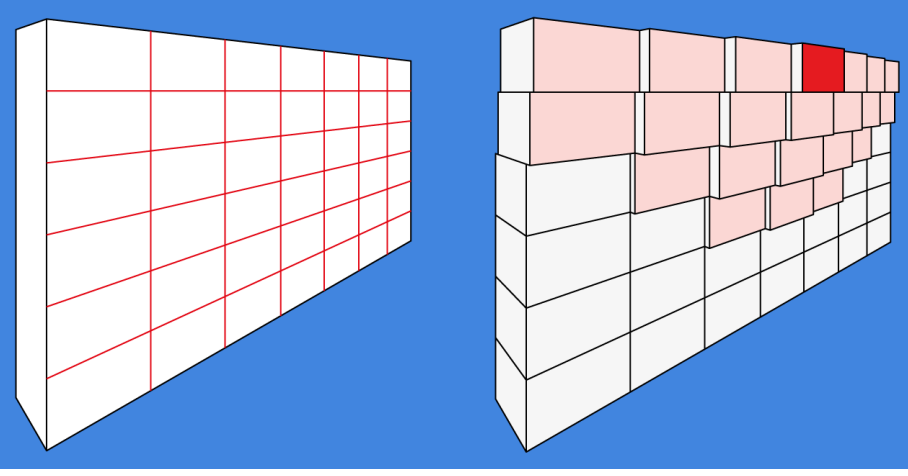


Successivamente, il calcolo del **carico verticale P** e della **spinta orizzontale S** esercitata dalla volta a crociera sui 4 vertici del perimetro viene svolto con riferimento a uno degli **archi diagonali** della volta. Si considera lo schema statico illustrato in figura, ipotizzando i seguenti vincoli: 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.

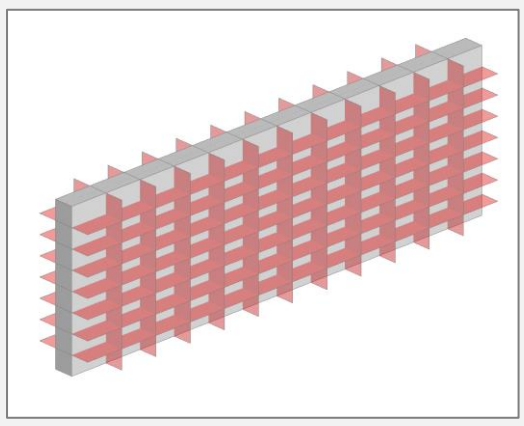
Aedes.PCM 2024

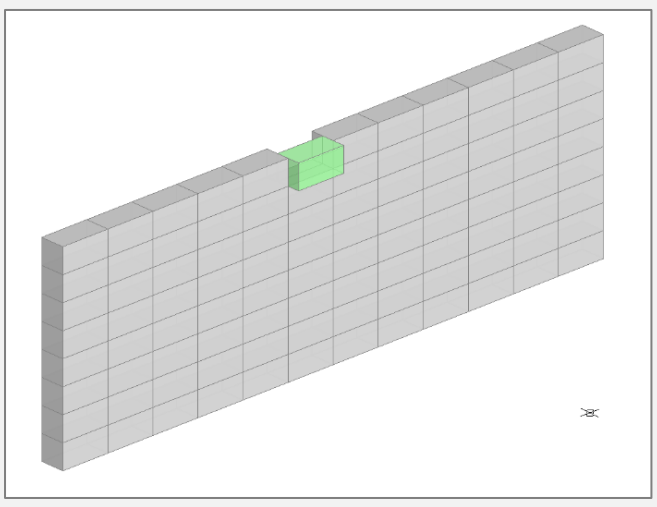
Analisi cinematica: discretizzazione e scostamento

Aedes.PCM 2024 introduce 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.



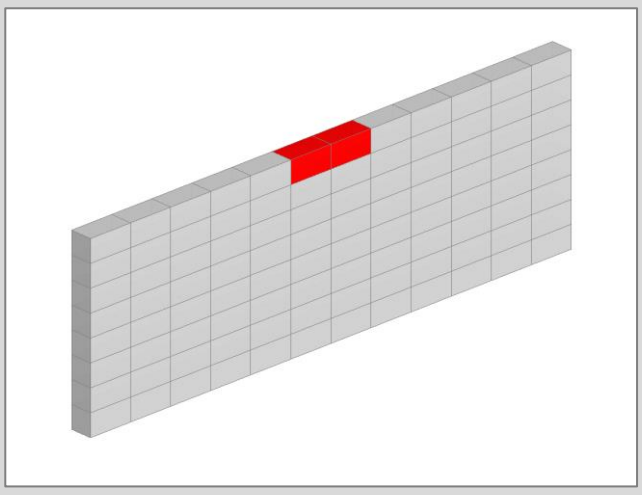
La funzione di **Discretizzazione** permette di suddividere un corpo rigido, o un insieme di corpi rigidi paralleli, per mezzo di una griglia di taglio, specificando la larghezza e l'altezza dei blocchi risultanti. La discretizzazione, così come i tagli per mezzo di polilinea o piano qualsiasi, viene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



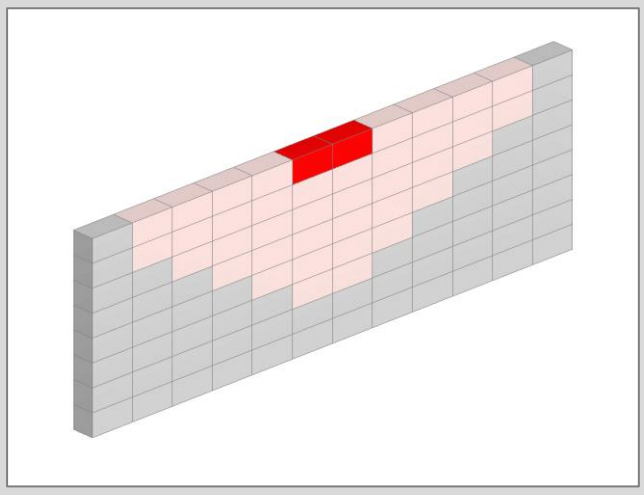


Ai blocchi risultanti dalla discretizzazione (o in generale a tutti i blocchi che derivano dal taglio di un corpo rigido) può essere applicato uno **scostamento in direzione trasversale**, cioè un offset rispetto alla posizione originaria che permetta di descrivere con maggiore precisione la reale conformazione 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.

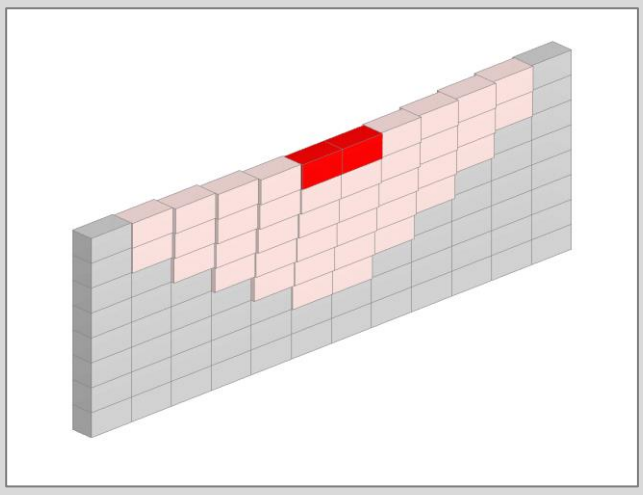
Oltre allo scostamento "manuale" dei corpi rigidi, è presente una funzione avanzata che permette di applicare rapidamente uno **scostamento continuo** ai blocchi risultanti da una discretizzazione. In questo modo sarà possibile modellare in pochi passaggi la presenza di un fuoripiombo o di uno spanciamento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



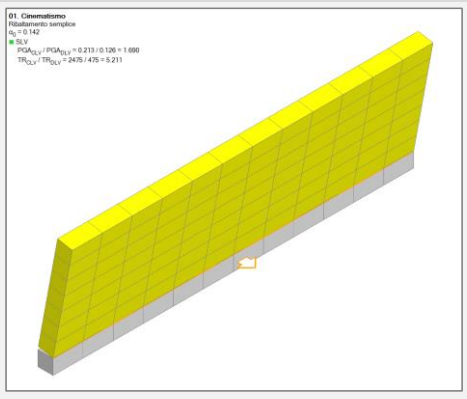
Selezione dei corpi coinvolti nello scostamento

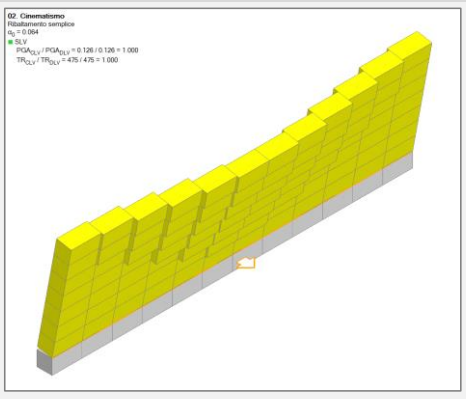


Definizione dello scostamento massimo

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/m^3.
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.

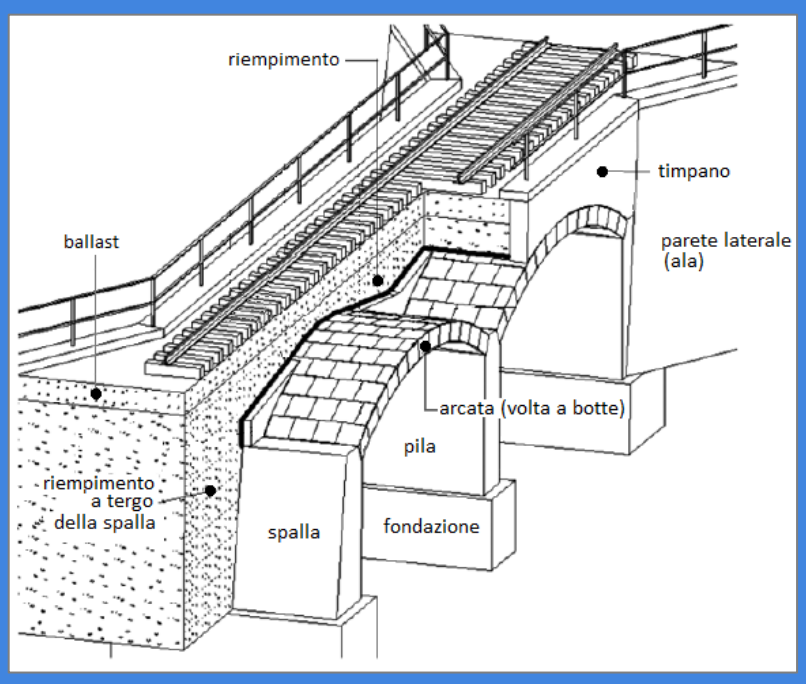




Nella configurazione deformata si ottiene un moltiplicatore di collasso pari a 0.064, che risulta inferiore al moltiplicatore nella configurazione originaria pari a 0.142. Questo conferma l'incidenza dello scostamento continuo sui risultati dell'analisi cinematica.

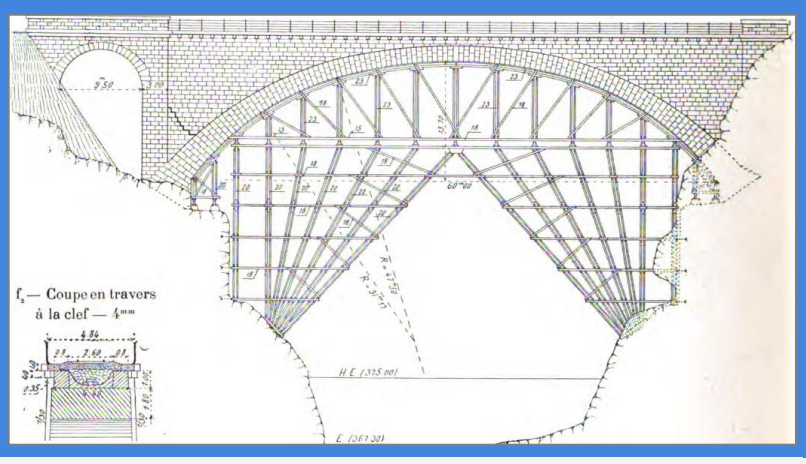
Aedes.SAV 2024

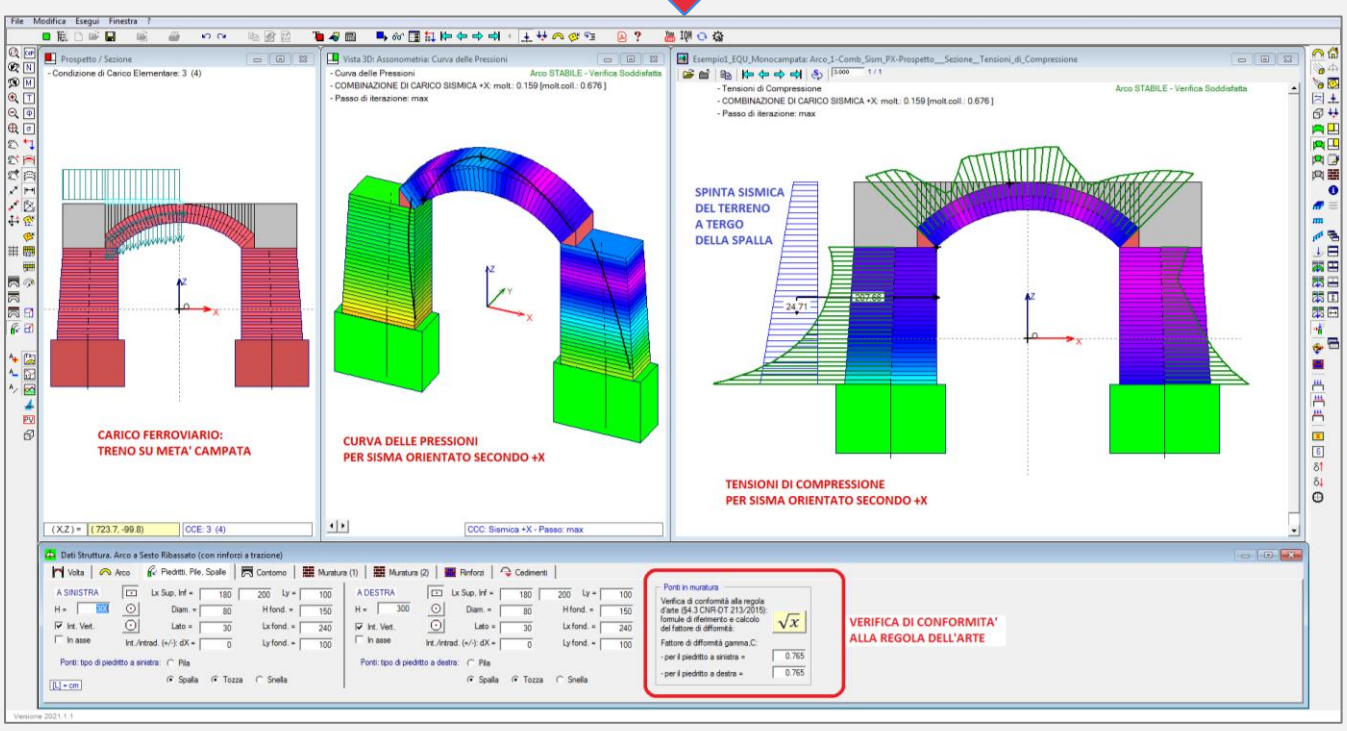
Analisi statica e sismica di ponti in muratura e calcestruzzo



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*



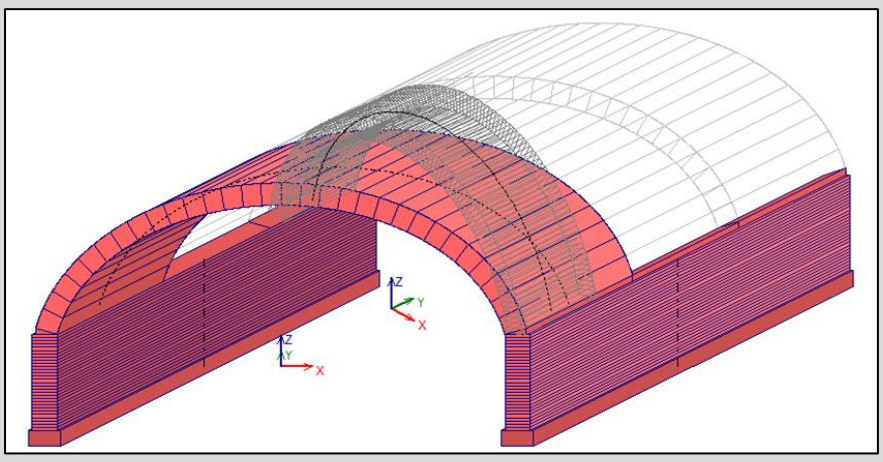


Nei **ponti monocampata** entrambi i piedritti sono costituiti dalle spalle, soggette alle **spinte del terreno**, calcolate automaticamente dal software ed assegnate come azioni lungo lo sviluppo in elevazione dei piedritti. Aedes.SAV distingue i casi di **spalle tozze o snelle**, trattate diversamente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

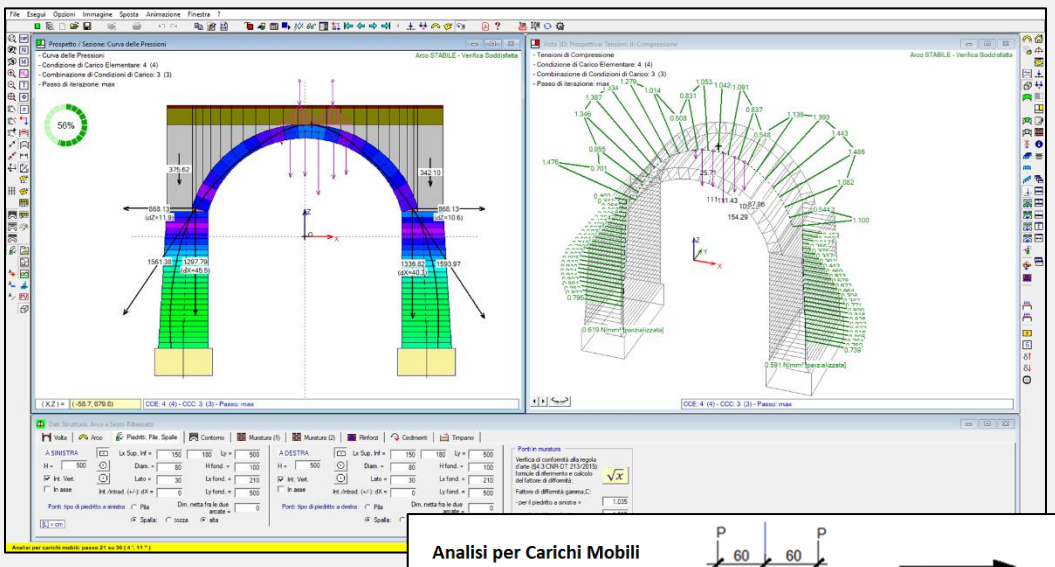


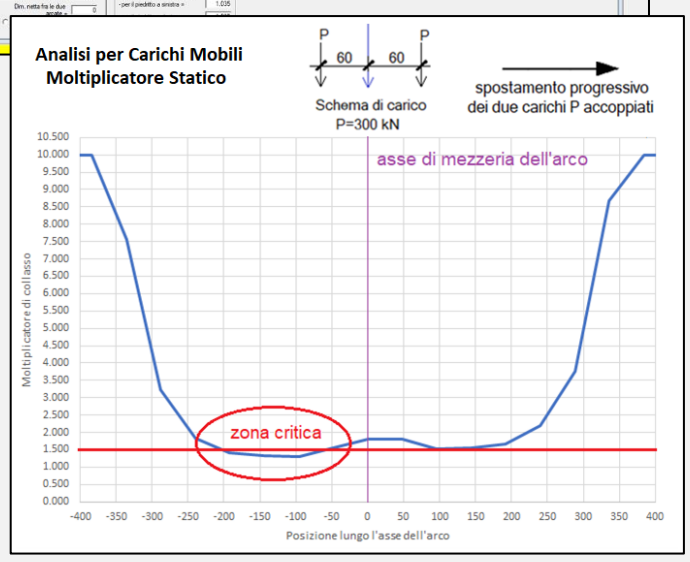
SAV modella esattamente la geometria del sistema voltato obliquo: gestisce il piano di testata contenente l'arco ellittico e le azioni che la volta trasmette ai piedritti, nel piano e fuori piano rispetto alla profondità dei piedritti. Come per i ponti a volta retta, l'**analisi per carichi mobili**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

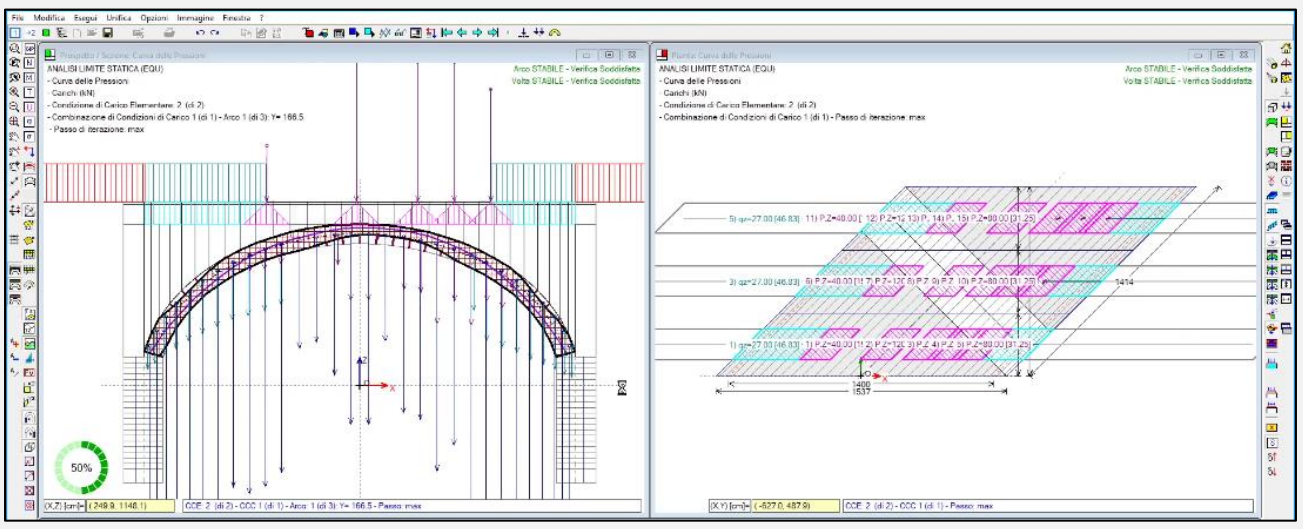
Analisi per carichi mobili

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.







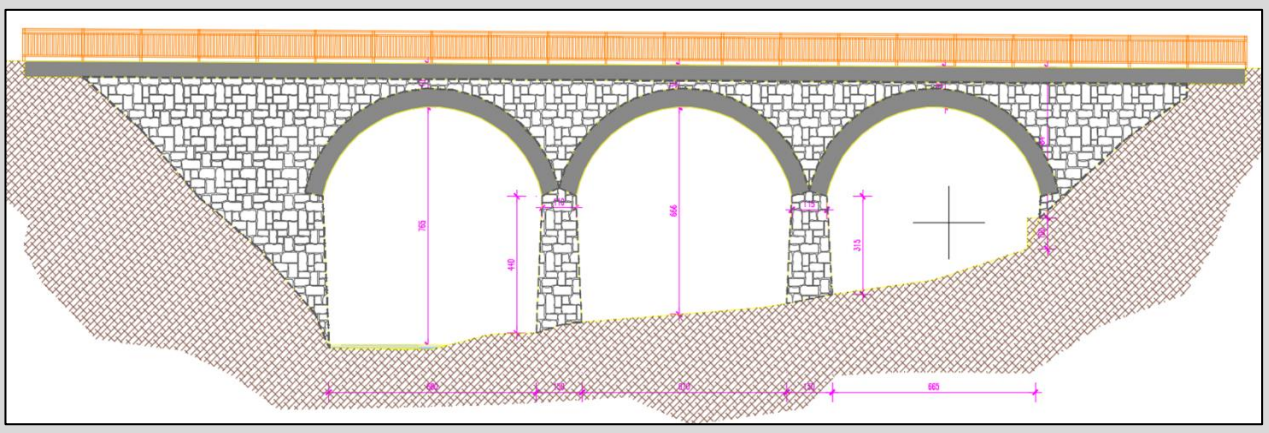
[Scopri di più sull'analisi per carichi mobili in Aedes.SAV, attraverso questo video esplicativo]

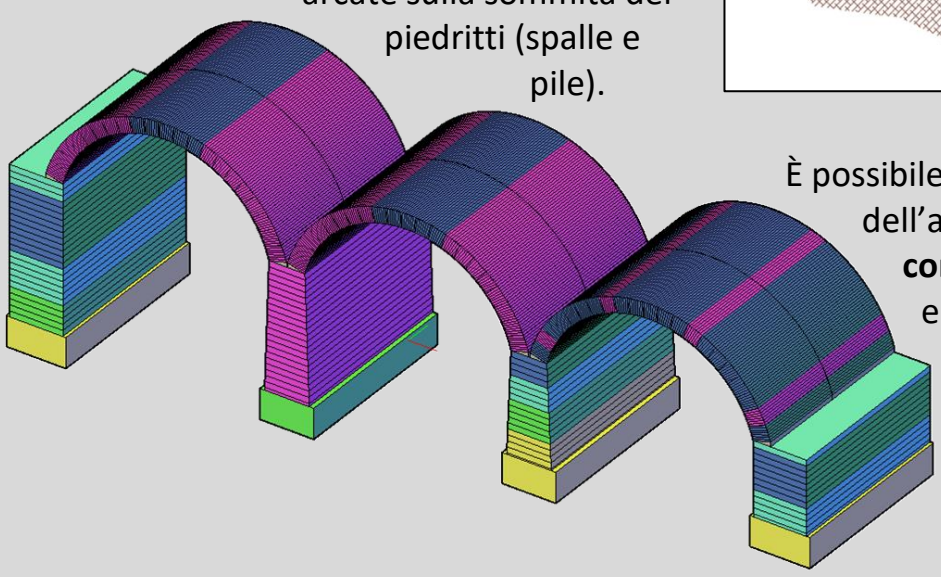
Aedes.SAV 2024

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).





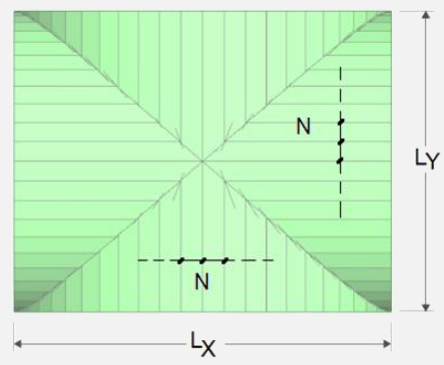
È possibile considerare l'**azione sismica trasversale** (ortogonale al piano dell'arcata), molto importante per le pile; più in generale, SAV gestisce la **combinazione sismica direzionale**, con le due direzioni orizzontali X e Y e la verticale Z.

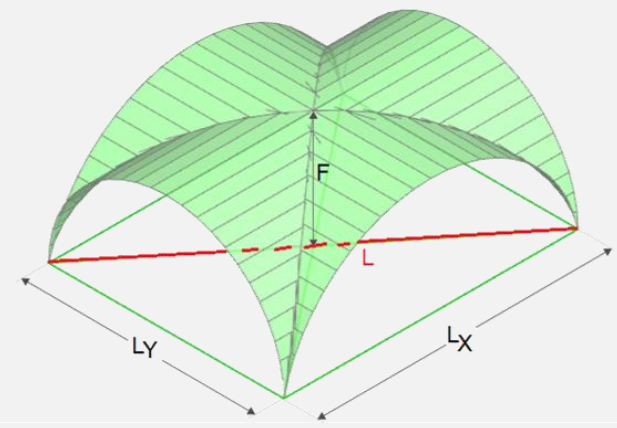
Si possono modellare configurazioni eccezionali a seguito della **crisi di una singola campata**, con l'obiettivo di evitare il crollo delle campate adiacenti.

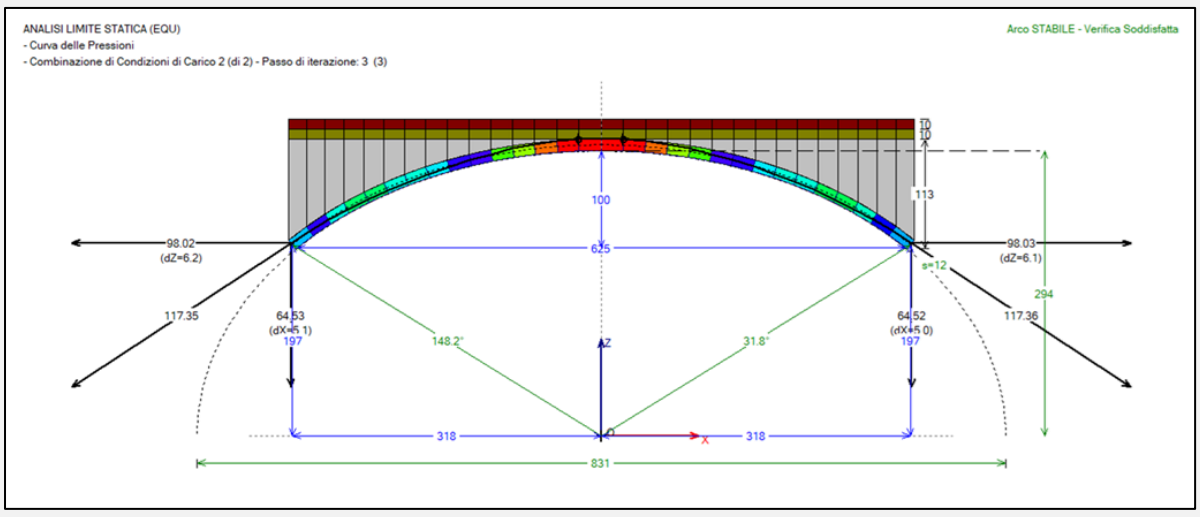
Aedes.SAV 2024
Nuove funzionalità

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.



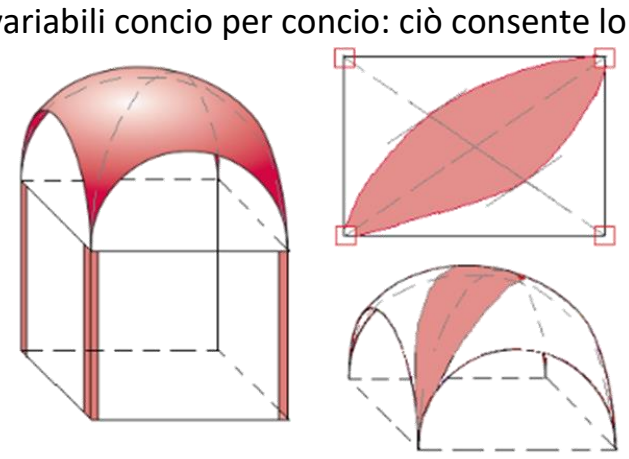




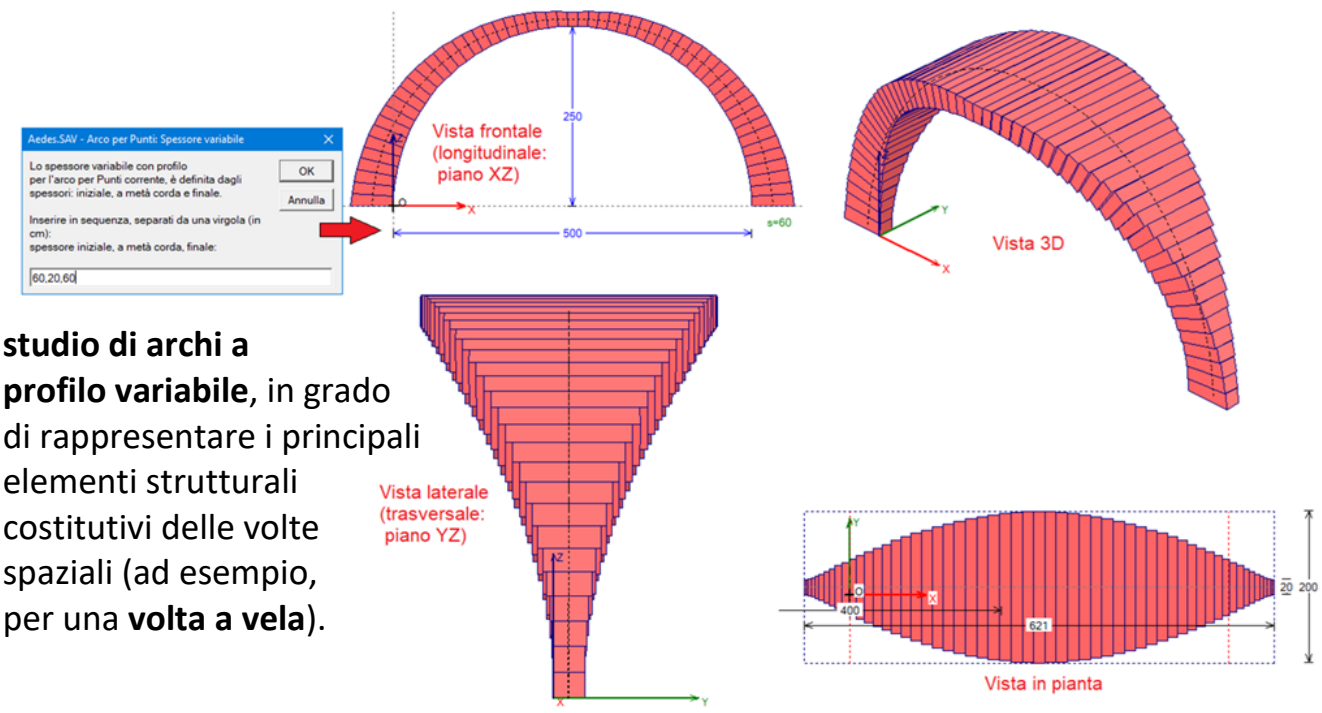
Viene gestita la forma ellittica dell'arco diagonale, generato dall'intersezione di due volte a botte (cilindriche) con generatrice circolare.

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

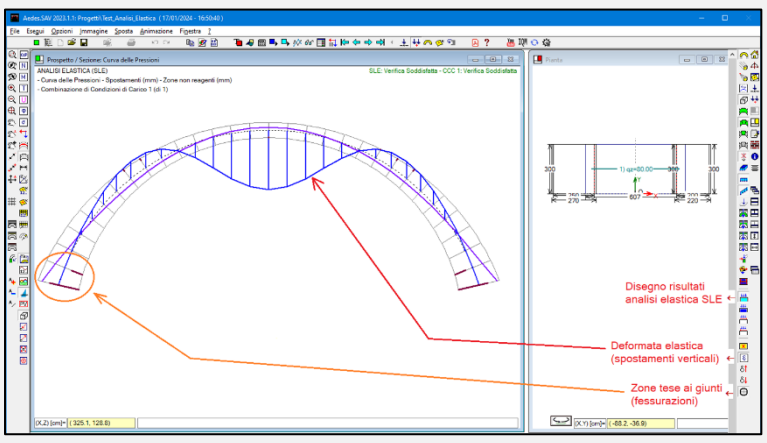


studio di archi a profilo variabile, in grado di rappresentare i principali elementi strutturali costitutivi delle volte spaziali (ad esempio, per una **volta a vela**).

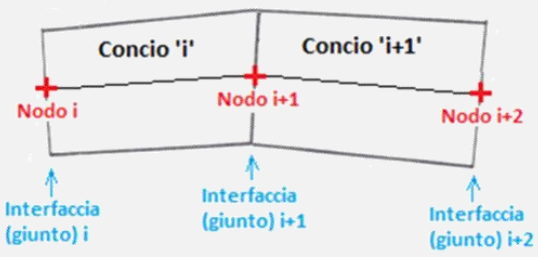


Mediante comandi dedicati, il profilo variabile può essere elaborato agevolmente internamente a SAV a partire da una tipologia notevole, ad esempio un arco a tutto sesto.

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.

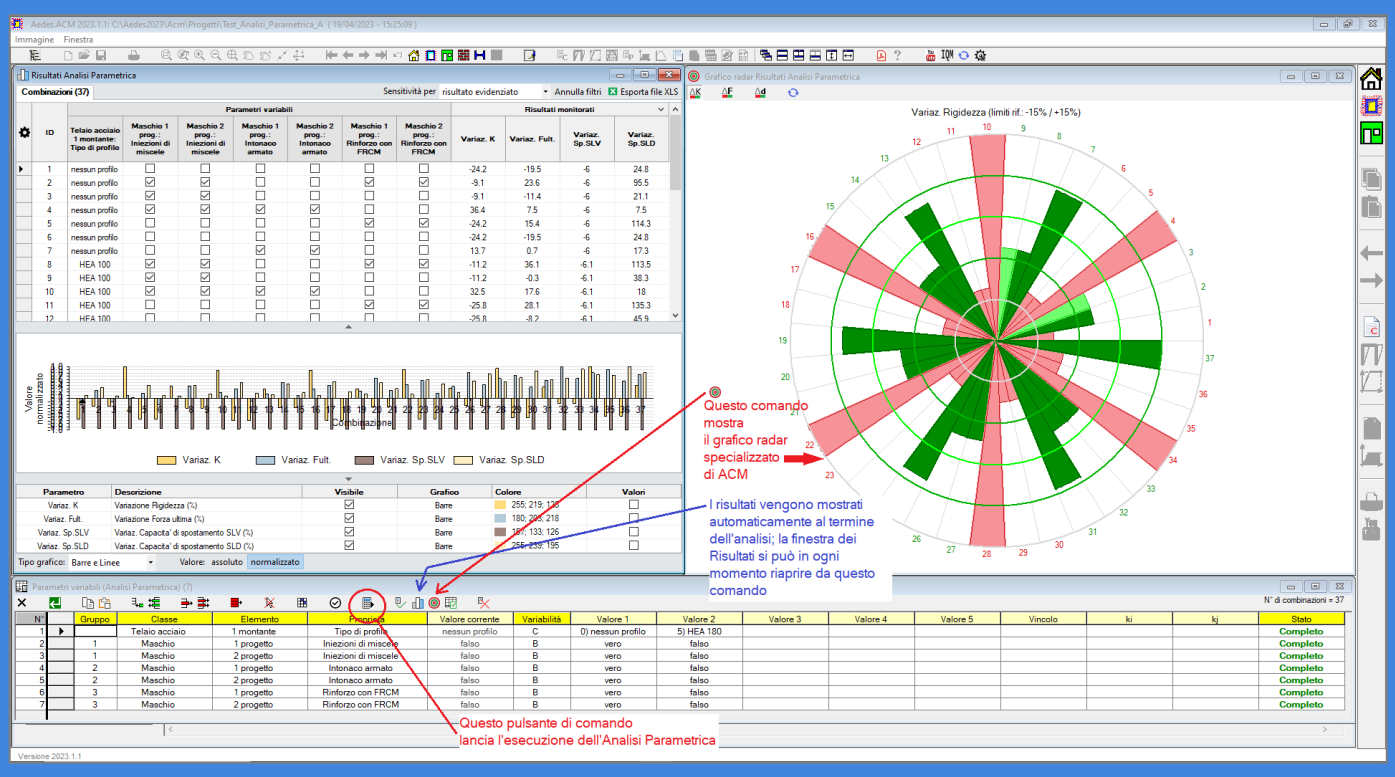


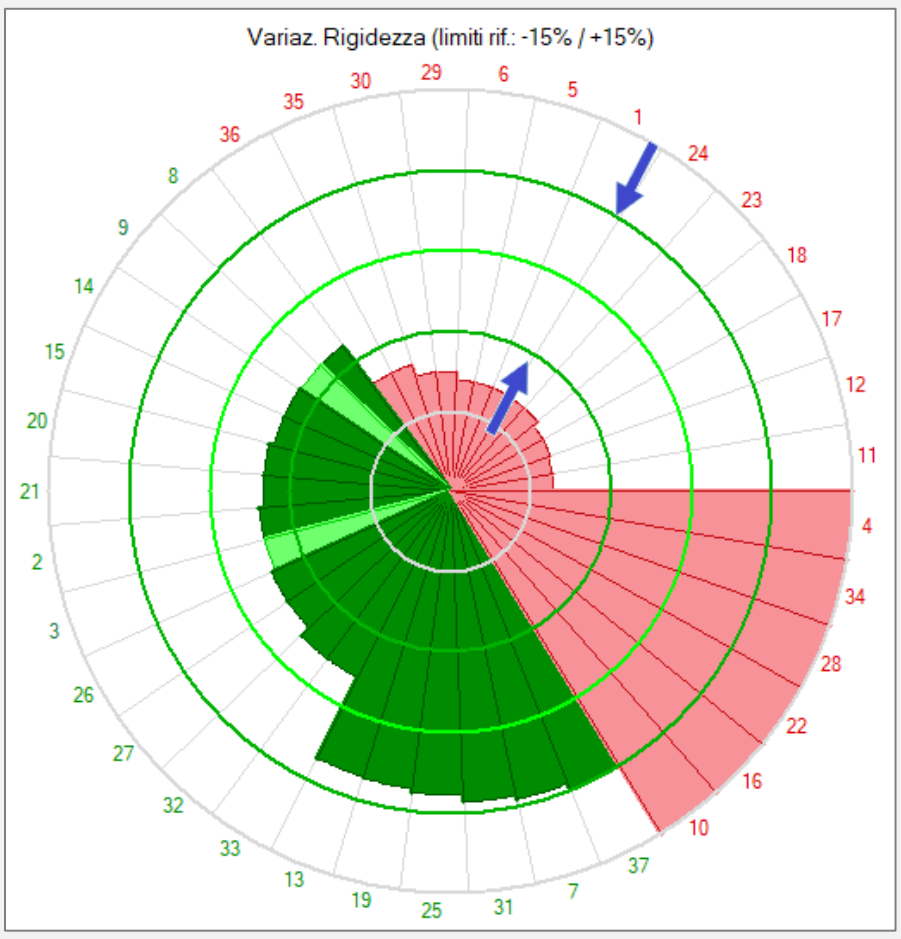
La visualizzazione dell'**arco reagente a compressione, innovazione introdotta da SAV, sia per SLE che per SLU**, evidenzia lo scheletro portante della struttura sotto i carichi agenti.

Aedes.ACM 2024

Analisi Parametrica: ottimizzazione dell'intervento locale

Aedes.ACM introduce l'**Analisi Parametrica**, cioè l'elaborazione automatica di una serie di verifiche di sicurezza, in termini di rigidezza, 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.**

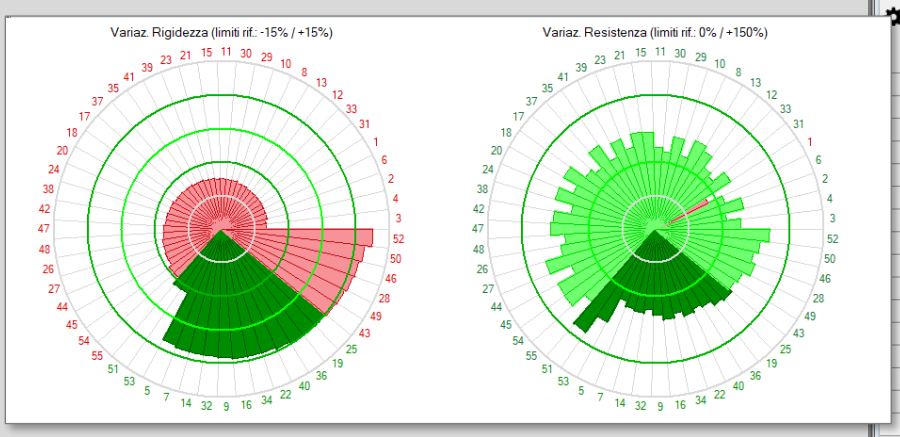


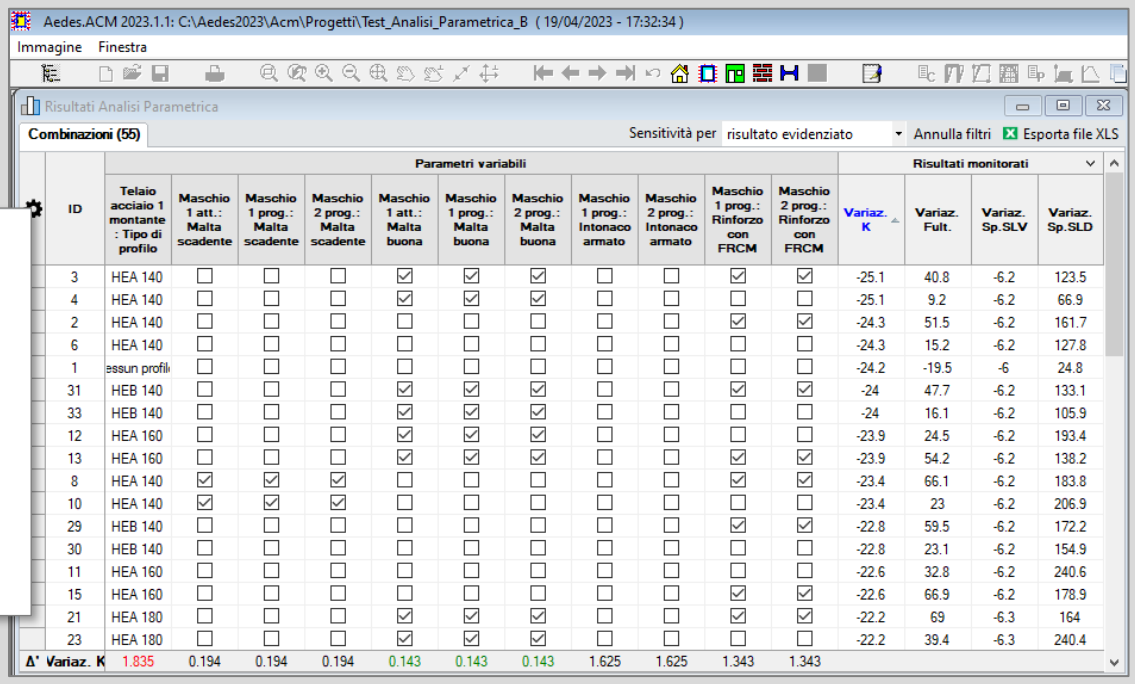


Scelto un insieme di parametri variabili di progetto, si generano N combinazioni, ciascuna analizzata dall'Analisi Parametrica:
in un **grafico radar specializzato**, consistente in un istogramma circolare, gli spicchi corrispondenti alle singole combinazioni vengono colorati con riferimento a due cerchi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



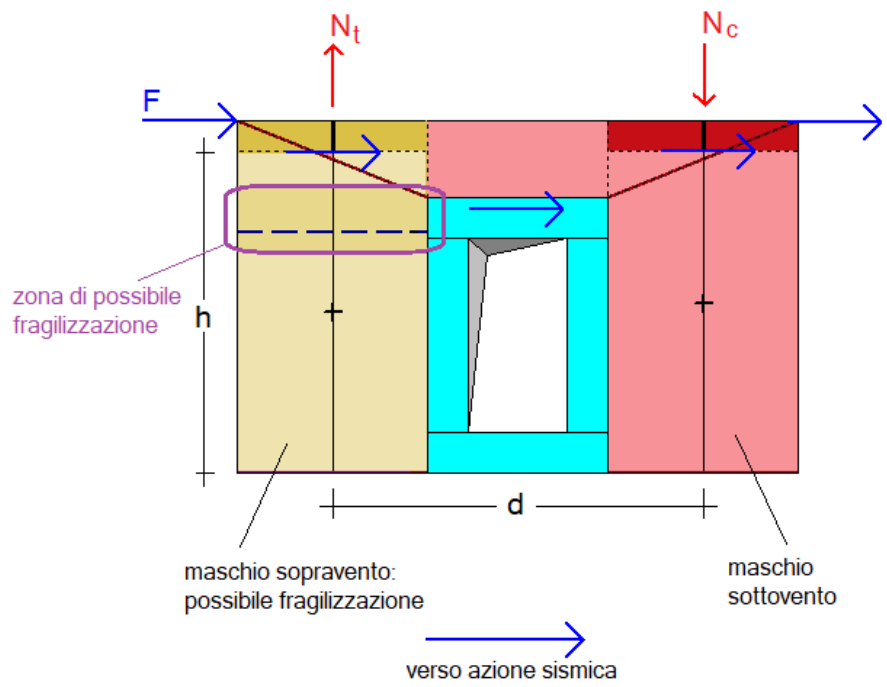


ID	Telaio acciaio 1 montante : Tipo di profilo	Maschio 1 att.: Malta scadente	Maschio 1 prog.: Malta scadente	Maschio 2 prog.: Malta scadente	Maschio 1 att.: Malta buona	Maschio 1 prog.: Malta buona	Maschio 2 prog.: Malta buona	Maschio 1 prog.: Intonaco armato	Maschio 2 prog.: Intonaco armato	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCM	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCM	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	essun profil	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	-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 2024
Nuove funzionalità

Controllo di fragilizzazione dei maschi sopravento

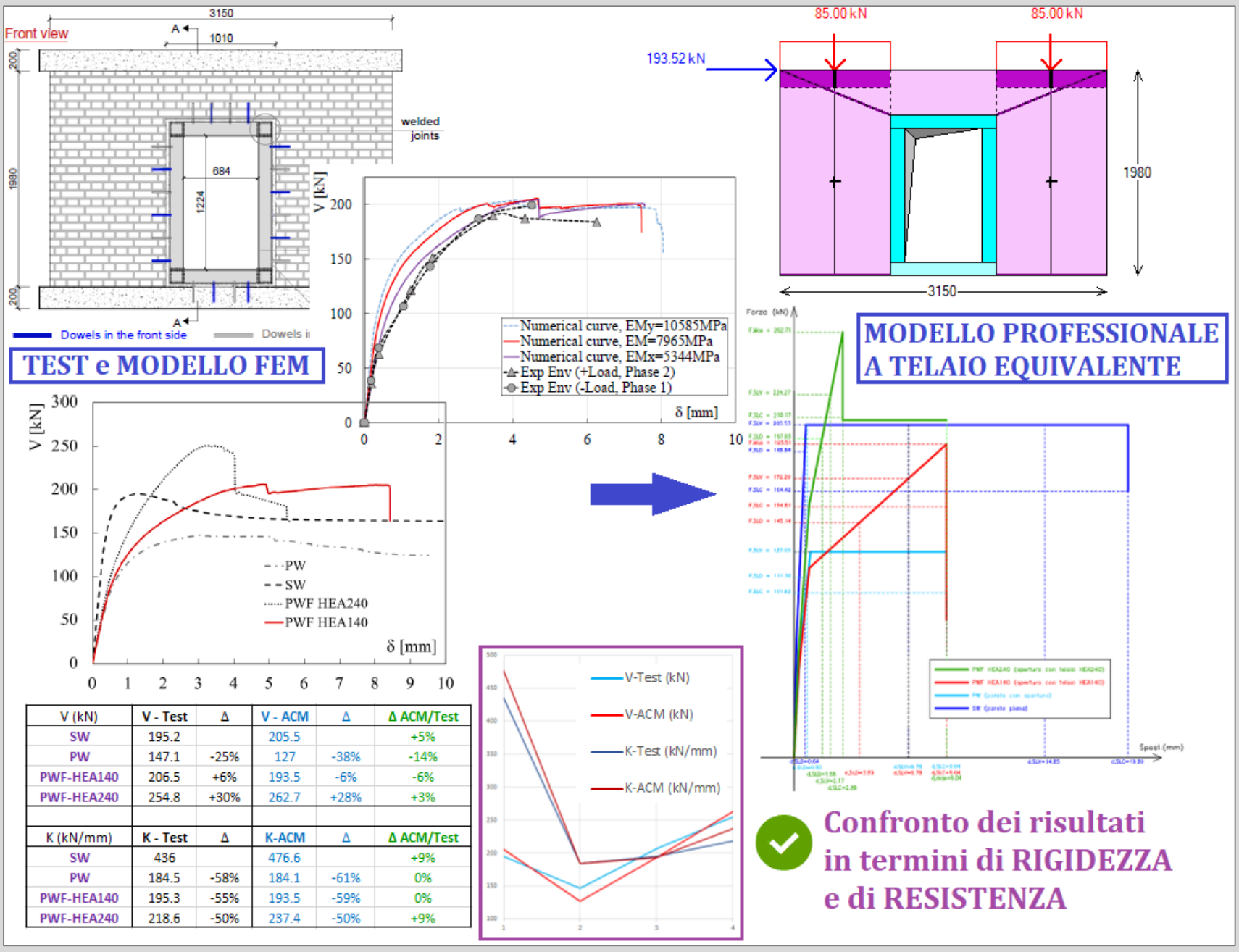
Aedes.ACM introduce la **gestione della crisi per trazione** che può insorgere in un maschio murario adiacente ad un telaio di cerchiatura qualora il **telaio** abbia **resistenza eccessiva** e tenda ad assorbire tutta la forza sismica orizzontale. Grazie a questo controllo, profili del telaio troppo 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:

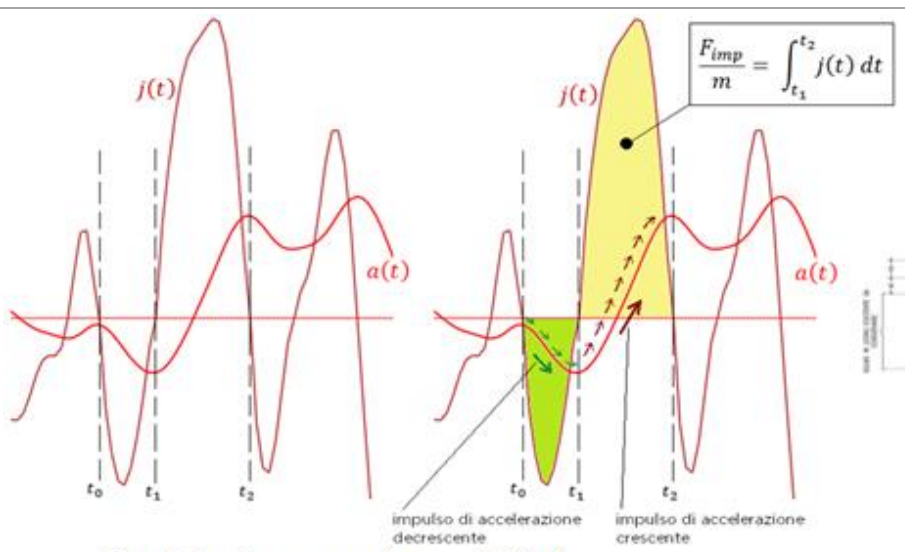
- la **corretta rappresentazione dei risultati** sperimentali e numerici ottenuti dal test
- la possibilità di individuare una **soluzione progettuale efficace** e rispondente ai requisiti di sicurezza richiesti dalla Normativa vigente.



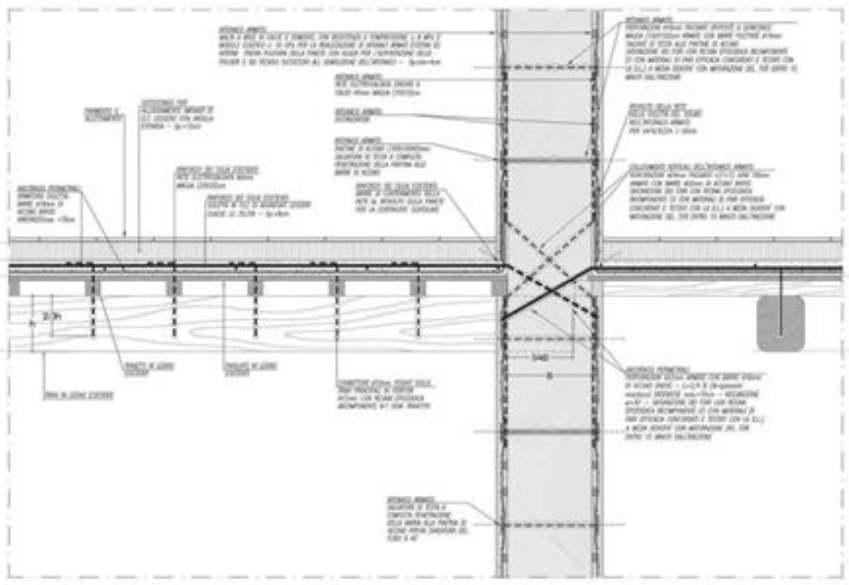
V (kN)	V - Test	Δ	V - ACM	Δ	Δ ACM/Test
SW	195.2		205.5		+5%
PW	147.1	-25%	127	-38%	-14%
PWF-HEA140	206.5	+6%	193.5	-6%	-6%
PWF-HEA240	254.8	+30%	262.7	+28%	+3%

K (kN/mm)	K - Test	Δ	K-ACM	Δ	Δ ACM/Test
SW	436		476.6		+9%
PW	184.5	-58%	184.1	-61%	0%
PWF-HEA140	195.3	-55%	193.5	-59%	0%
PWF-HEA240	218.6	-50%	237.4	-50%	+9%

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**.



Impulsive force per unit mass, defined as the integral of jerk between two consecutive zeros



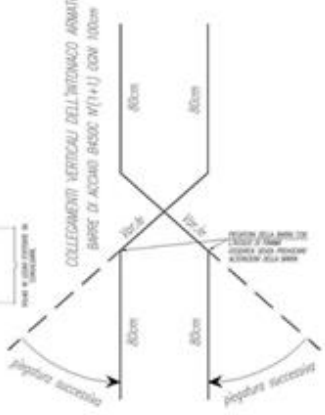


Immagine tratta dall'articolo scientifico: Mariani M., Pugi F.: Effects of impulsive actions due to seismic jerk and local failures in masonry structures, EuroDyn 2020, Athens, Greece, 23-26 November 2020

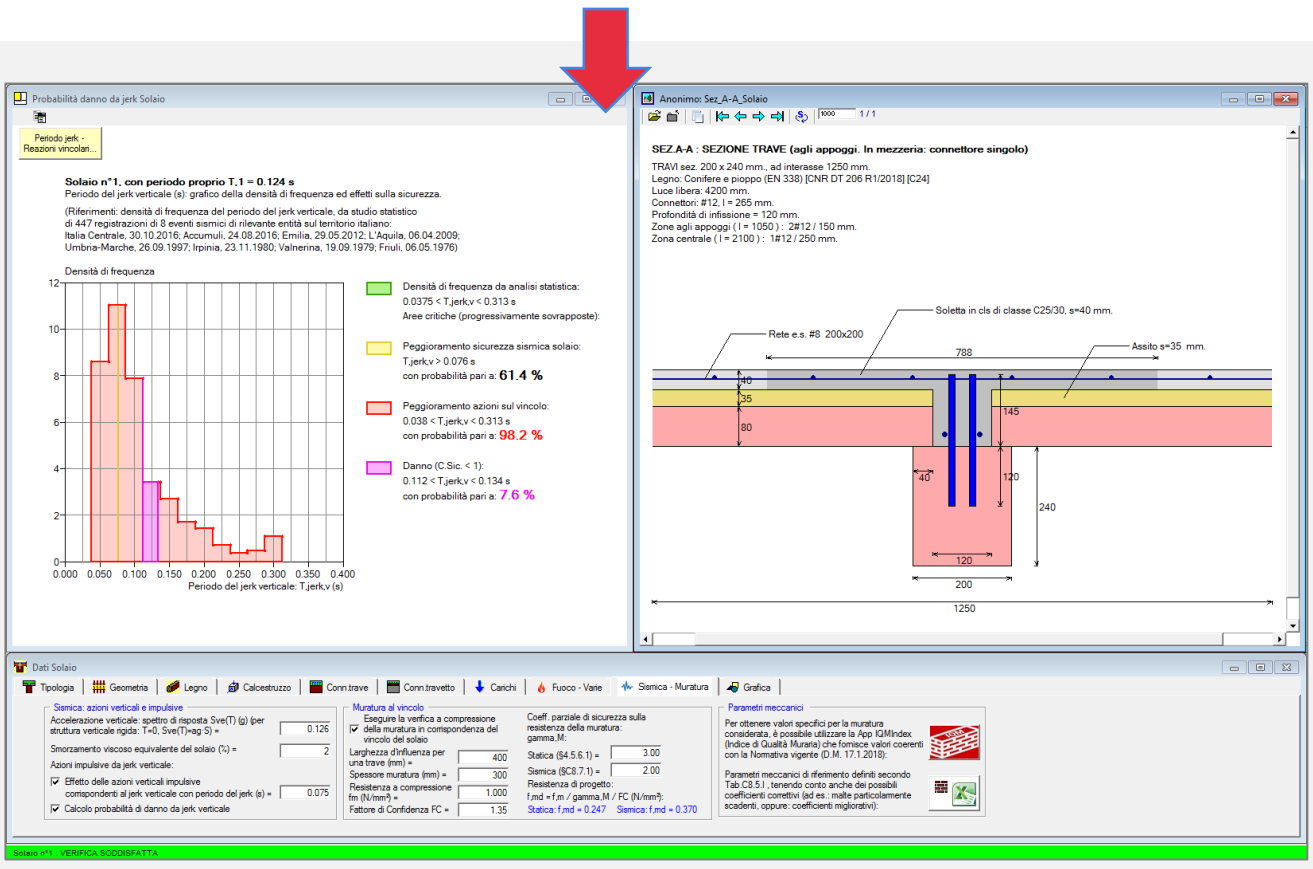
Aedes.SLC 2024

Azioni sismiche impulsive ed effetti sui nodi di collegamento

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.

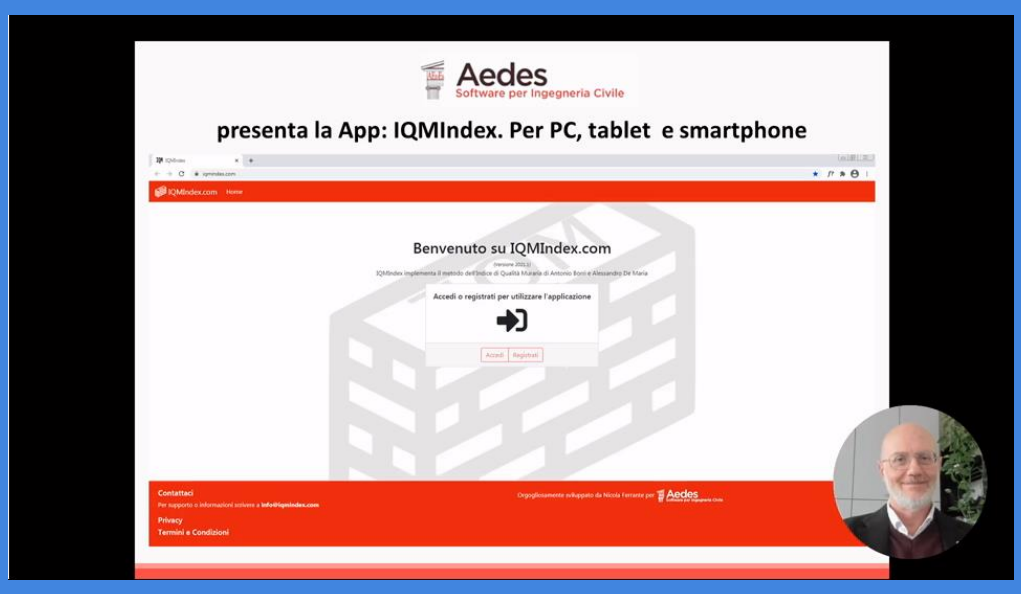


Aedes.SLC: Analisi degli effetti delle azioni sismiche impulsive sul nodo solaio - parete muraria

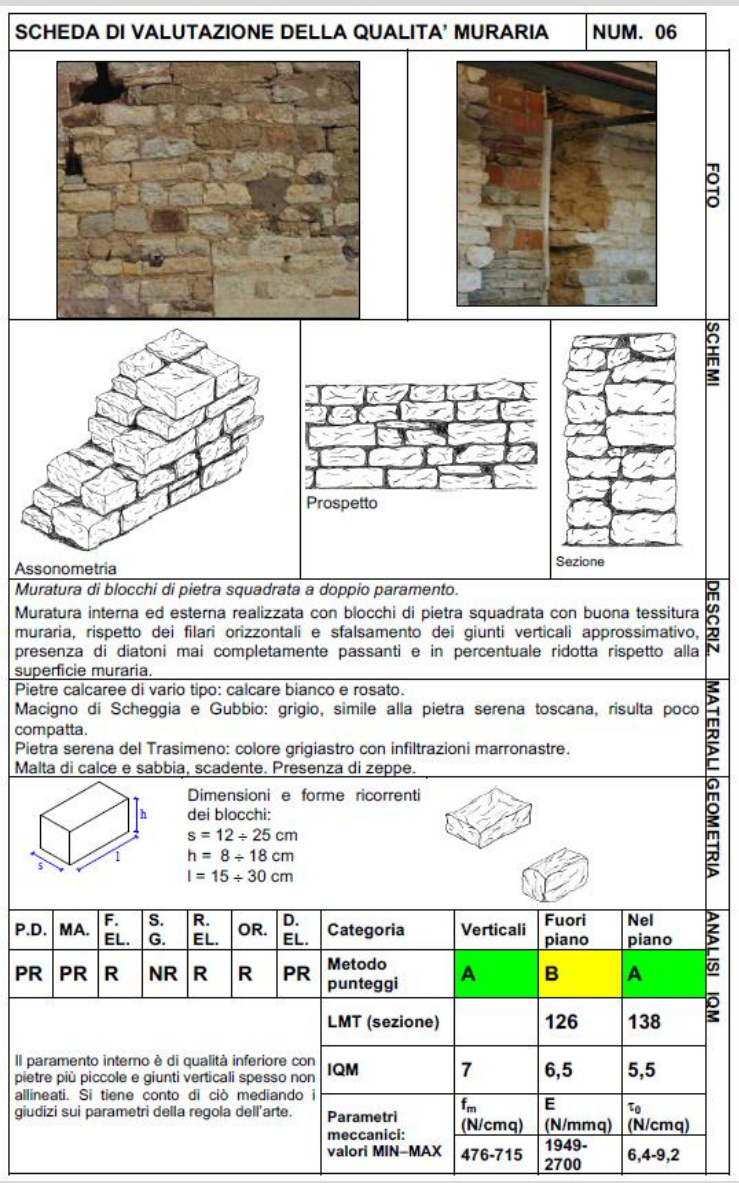
App IQMIndex

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: Assonometria; Prospetto; Sezione

DESCRIZ.: *Muratura di blocchi di pietra squadrata a doppio paramento.*
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.

MATERIALI: Pietre calcaree di vario tipo: calcare bianco e rosato.
Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana, risulta poco compatta.
Pietra serena del Trasimeno: colore grigiastro con infiltrazioni marronastre.
Malta di calce e sabbia, scadente. Presenza di zeppe.

GEOMETRIA: Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:
s = 12 ÷ 25 cm
h = 8 ÷ 18 cm
l = 15 ÷ 30 cm

ANALISI IQM:

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
							IQM	7	6,5	5,5
							Parametri meccanici: valori MIN–MAX	f_m (N/cmq)	E (N/mmq)	τ_0 (N/cmq)
								476-715	1949-2700	6,4-9,2

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.

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.