

# Aedes versioni 2023

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

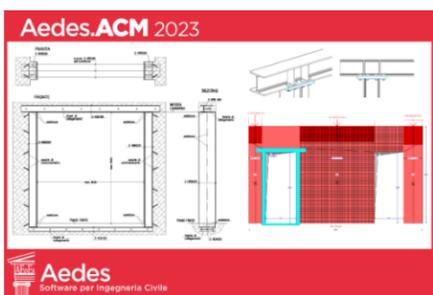


- Studi ed elaborazioni per il patrimonio edilizio esistente
- Analisi di vulnerabilità. Edilizia ordinaria, storica e monumentale. Recupero e consolidamento
- Analisi Parametrica: gestione delle incertezze e ottimizzazione degli interventi
- Classificazione sismica (sismabonus)
- L'Indice di Qualità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



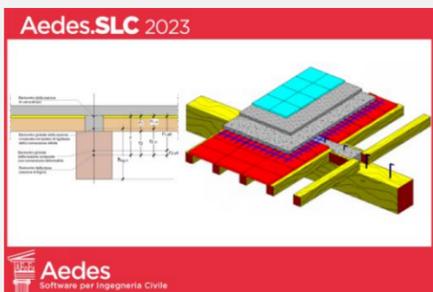
## Aedes.PCM 2023

- **Analisi parametrica:** ottimizzazione del progetto
- **Spettri di piano** applicabili ad analisi sismiche lineari
- Gestione integrata della **classificazione sismica** con grafici e report
- Nuova organizzazione degli **esempi applicativi** per l'apprendimento



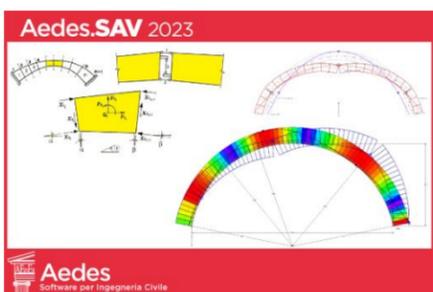
## Aedes.ACM 2023

- **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 2023

- **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.SAV 2023

- **Ponti in muratura:** spinte del terreno, analisi statica e sismica
- Carichi stradali e ferroviari. Conformità alla regola dell'arte
- Ponti monocampata e multicampata (spalle e pile)
- Analisi parametrica per **carichi mobili**

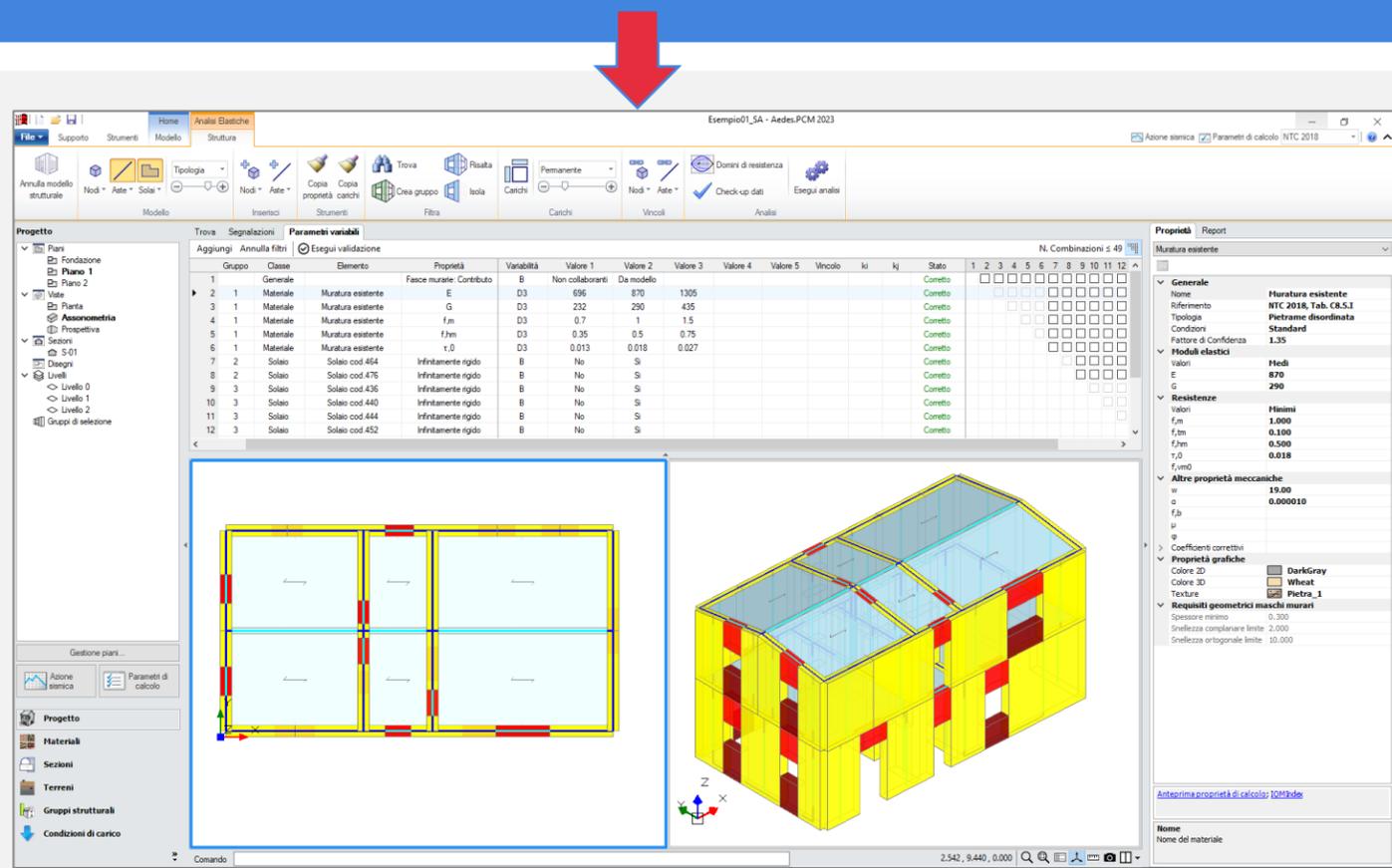
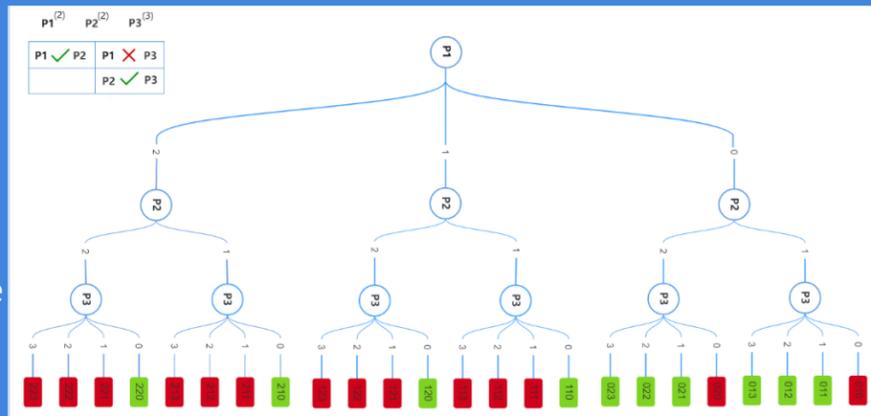
# Aedes versioni 2023

## Aedes.PCM 2023

### Analisi Parametrica: ottimizzazione del progetto

La valutazione della sicurezza di edifici esistenti è in genere affetta da innumerevoli **incertezze** che riguardano la modellazione strutturale: caratteristiche meccaniche dei materiali, definizione del telaio equivalente, comportamento delle fasce murarie, distribuzione del carico dei solai ecc. Alcune incertezze legate alle caratteristiche dei materiali sono tenute in conto per mezzo di fattori di confidenza, ma in generale solo l'esecuzione di molteplici analisi strutturali può fornire indicazioni circa l'impatto di un determinato parametro e guidare verso una scelta progettuale consapevole.

**Aedes.PCM 2023** introduce l'**Analisi Parametrica**, cioè l'elaborazione automatica di una serie di analisi modali e pushover considerando la variazione di alcuni parametri definiti dall'utente. L'Analisi Parametrica costituisce uno strumento utilissimo per la definizione della modellazione strutturale e permette di valutare rapidamente l'effetto di diverse **tecniche di intervento**.

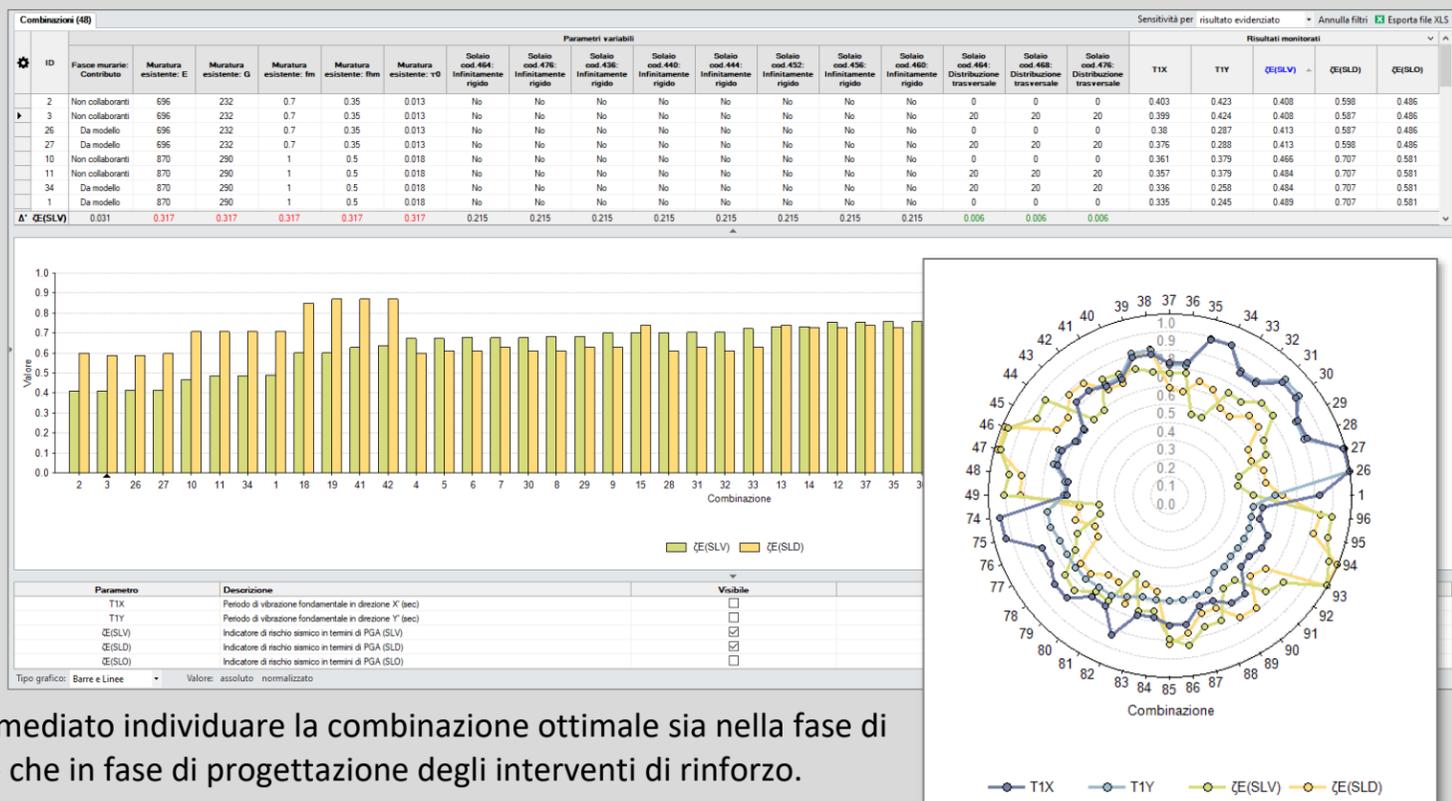


Un'apposita scheda permette di definire i **parametri variabili** corrispondenti a determinate proprietà di materiali, aste, nodi, solai o altre opzioni generali. Per ogni parametro è necessario specificare l'elenco dei possibili valori o un intervallo di variabilità. È possibile specificare vincoli numerici tra più parametri o raggrupparli per farli variare in modo omogeneo. Attraverso una matrice di esclusione è inoltre possibile impedire la variabilità contemporanea di due parametri, ad esempio per evitare la concomitanza di due diverse tecniche di intervento.

Aedes.PCM elabora automaticamente tutte le **combinazioni** possibili dei parametri considerati. Al lancio dell'Analisi Parametrica, per ogni combinazione vengono eseguite le analisi Modale e Pushover e si memorizzano alcuni **risultati significativi**: i periodi di vibrazione fondamentale e gli indicatori di rischio sismico  $\zeta_E$  per i vari stati limite considerati.

Al termine dell'Analisi è possibile consultare la **lista di tutte le combinazioni elaborate** con i relativi valori dei parametri variabili e dei risultati monitorati. Sono inoltre riportati i **parametri di sensitività**, misura di quanto un parametro variabile influisca sulla risposta della struttura. La variazione dei risultati monitorati è rappresentata in un **grafico** che può assumere la forma di barre e linee, barre 3D o radar.

Grazie a questi strumenti è immediato individuare la combinazione ottimale sia nella fase di valutazione dello stato di fatto che in fase di progettazione degli interventi di rinforzo.



## Aedes.PCM 2023

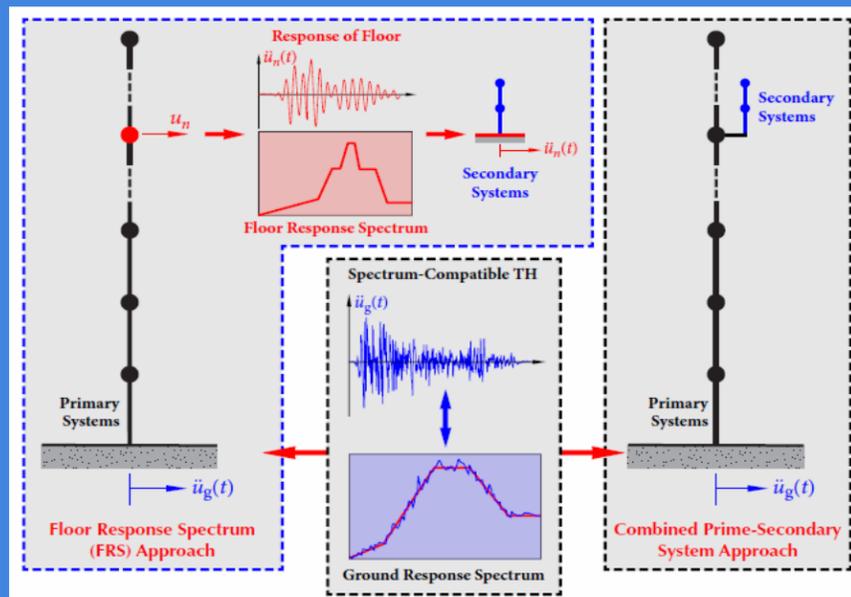
### Spettri di piano: definizione e analisi sismiche lineari

Le NTC 2018 distinguono gli **elementi costruttivi non strutturali** in due gruppi:

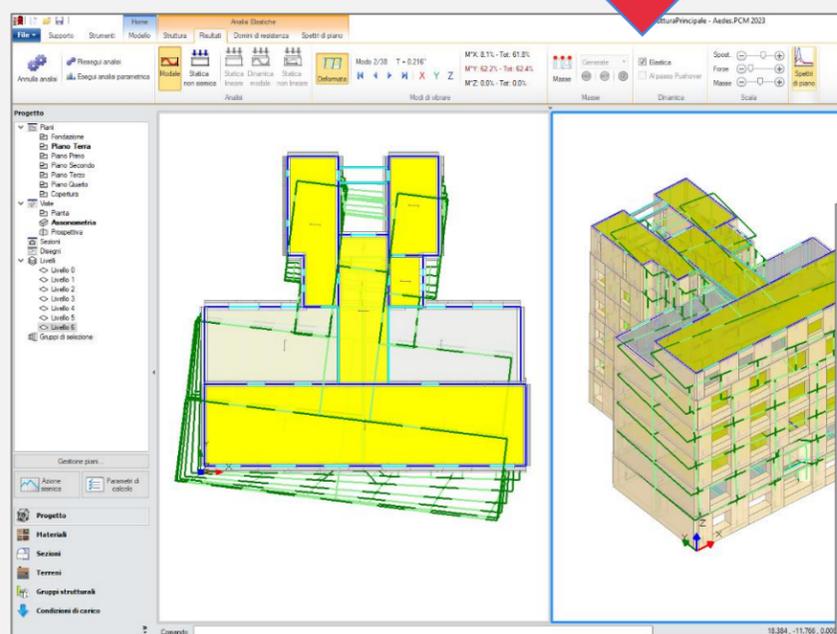
1. elementi con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale;
2. elementi che influenzano la risposta strutturale solo attraverso la loro massa.

Nel primo caso, l'analisi sismica può essere condotta inglobando gli elementi non strutturali nel modello della struttura principale (Combined Prime-Secondary System Approach).

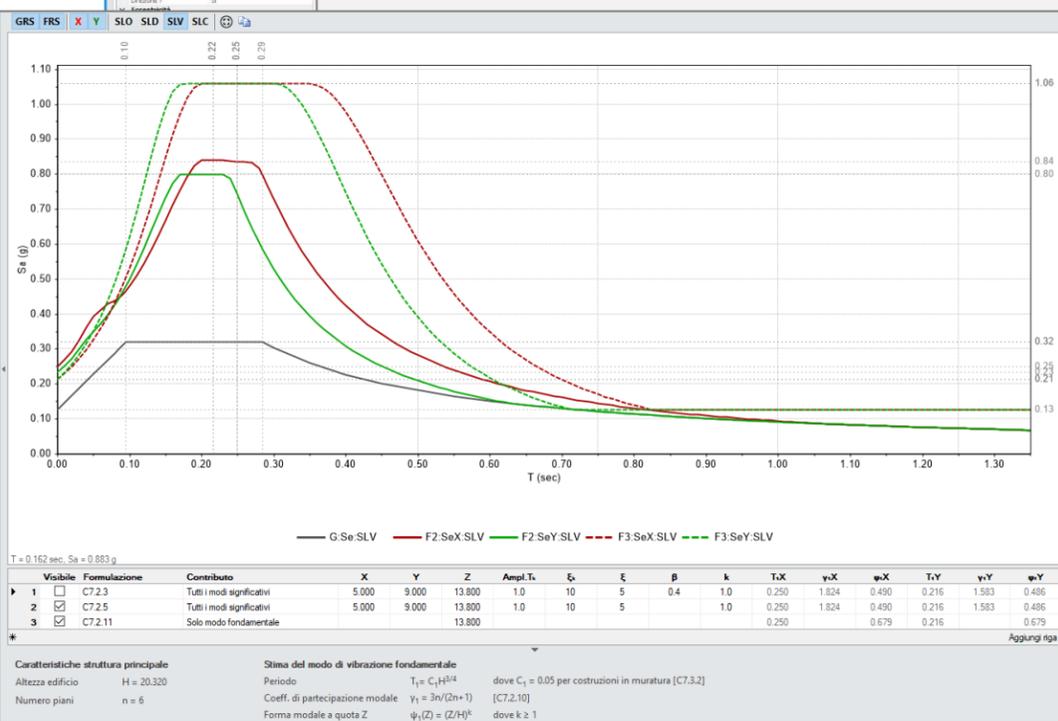
Per gli elementi del secondo gruppo, invece, l'analisi può essere disaccoppiata da quella della struttura principale. In questo caso l'input sismico può essere valutato per mezzo degli **spettri di piano** (Floor Response Spectrum Approach).



Gli spettri di piano rappresentano un modello per la valutazione dell'azione sismica in un predeterminato punto della struttura principale. Aedes.PCM 2023 consente di elaborare gli spettri di piano secondo le tre formulazioni fornite dalla Circolare applicativa delle NTC 2018 (§C7.2.3).

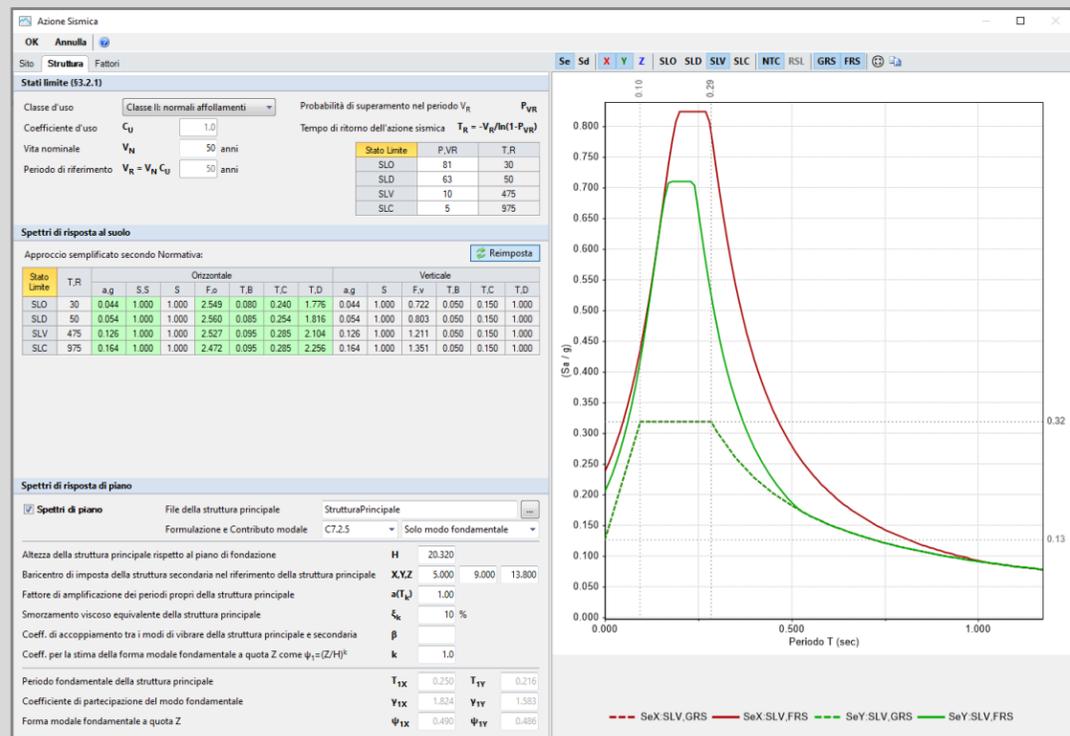


Una volta eseguita l'analisi modale della struttura principale, una finestra dedicata permette di elaborare svariati spettri di piano in funzione di posizione, formulazione e contributo modale.



Un grafico permette di confrontare gli spettri al suolo con i vari spettri di piano elaborati, per ogni stato limite e per le direzioni sismiche X' e Y'.

Inoltre, un apposito comando permette di esportare tutti gli spettri elaborati in formato tabulare su file XLS.



Si consideri una piccola struttura, come una pergola, un gazebo o una tettoia in legno o in acciaio, realizzata sulla copertura di un edificio.

Aedes.PCM 2023 consente di modellare questa struttura secondaria su un file separato e di condurre **analisi sismiche lineari** adottando come input sismico opportuni spettri di piano.

In questo caso, gli spettri di piano devono essere definiti direttamente nel file della struttura secondaria accedendo alla finestra "Azione sismica". Nella caratterizzazione degli spettri è possibile ricondursi all'analisi modale svolta sulla struttura principale specificando in input il file corrispondente.

In alternativa è comunque possibile definire gli spettri di piano sulla base di una stima dei modi di vibrare fondamentali.

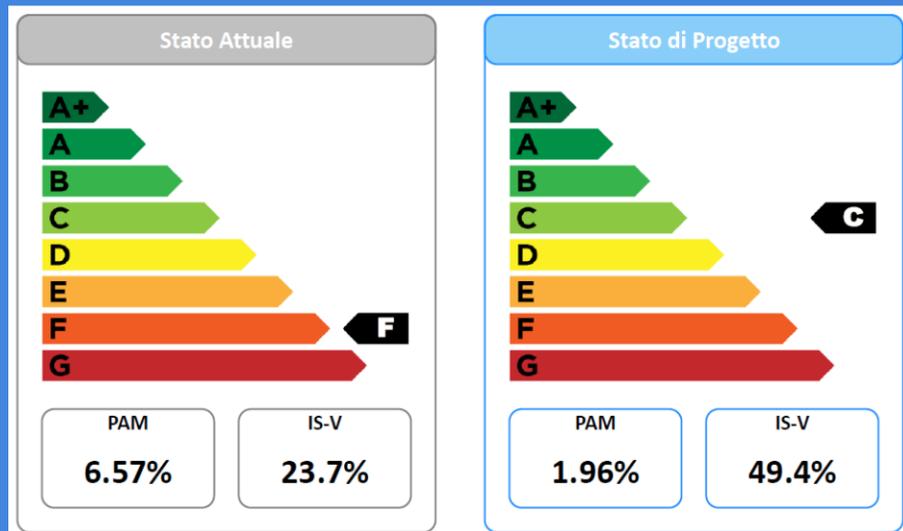
## Aedes.PCM 2023

### Classificazione sismica: report e grafici

La classificazione sismica di una costruzione consiste nell'assegnazione di una **Classe di Rischio** da A+ a G.

Per determinare la classe di rischio si fa riferimento a due parametri:

- la **Perdita Annuale Media (PAM)**, cioè il costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione;
- l'**Indice di Sicurezza (IS-V)** definito come rapporto tra capacità e domanda in termini di PGA allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

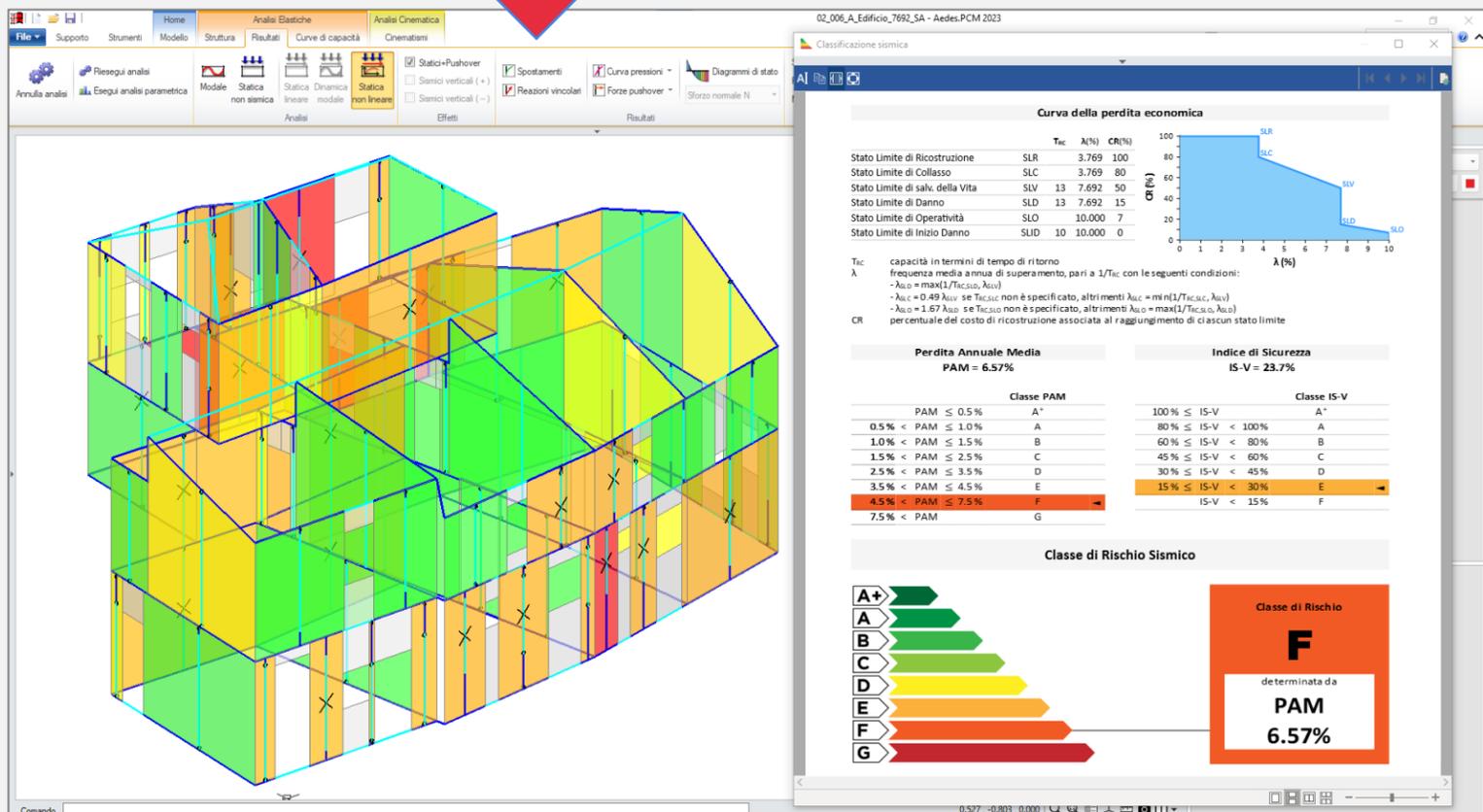


Aedes.PCM 2023 consente di determinare la Classe di Rischio di un edificio secondo il metodo convenzionale cioè sulla base delle usali verifiche di sicurezza previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Una volta completata la valutazione della sicurezza dell'edificio è possibile generare un report che fornisce la Classe di Rischio.

Il report include la curva della perdita economica da cui si ricava il parametro PAM, la classe PAM e la classe IS-V.

Il calcolo si basa sulla capacità in termini di tempo di ritorno per i vari stati limite considerati e sull'indicatore di rischio sismico  $\zeta_E$  per SLV.



I valori in input vengono impostati sulla base delle verifiche svolte, ma possono essere modificati liberamente per tenere ad esempio conto di altre verifiche svolte separatamente.

Qualora la valutazione della sicurezza sia relativa allo Stato di Progetto di un intervento di miglioramento, il report della Classificazione Sismica si compone di più pagine:

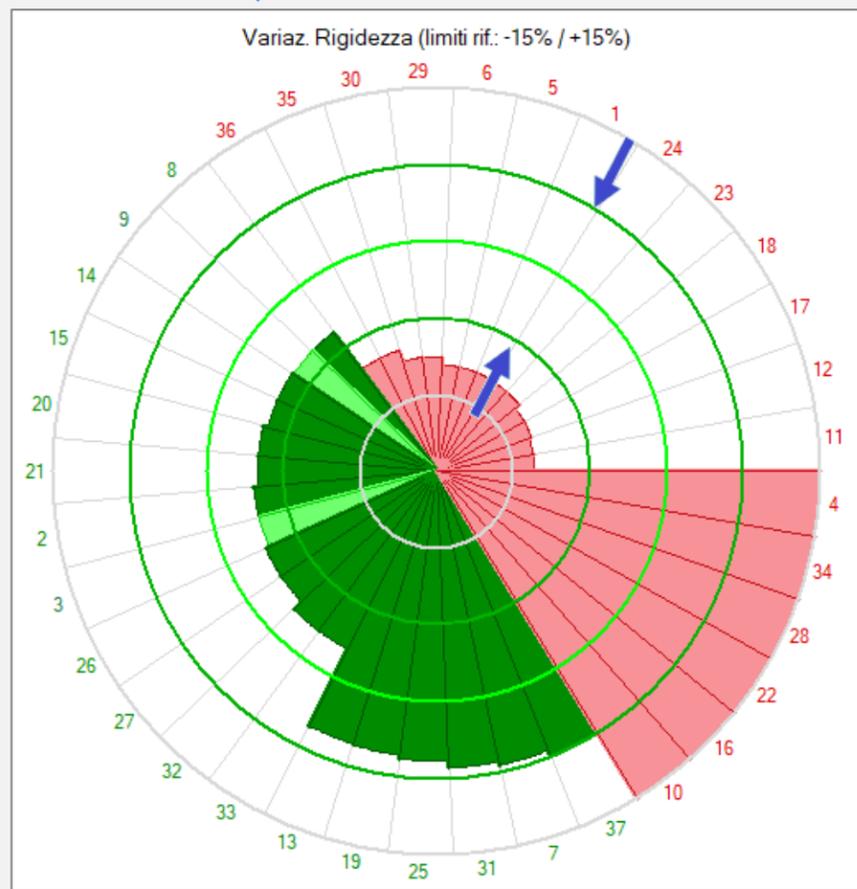
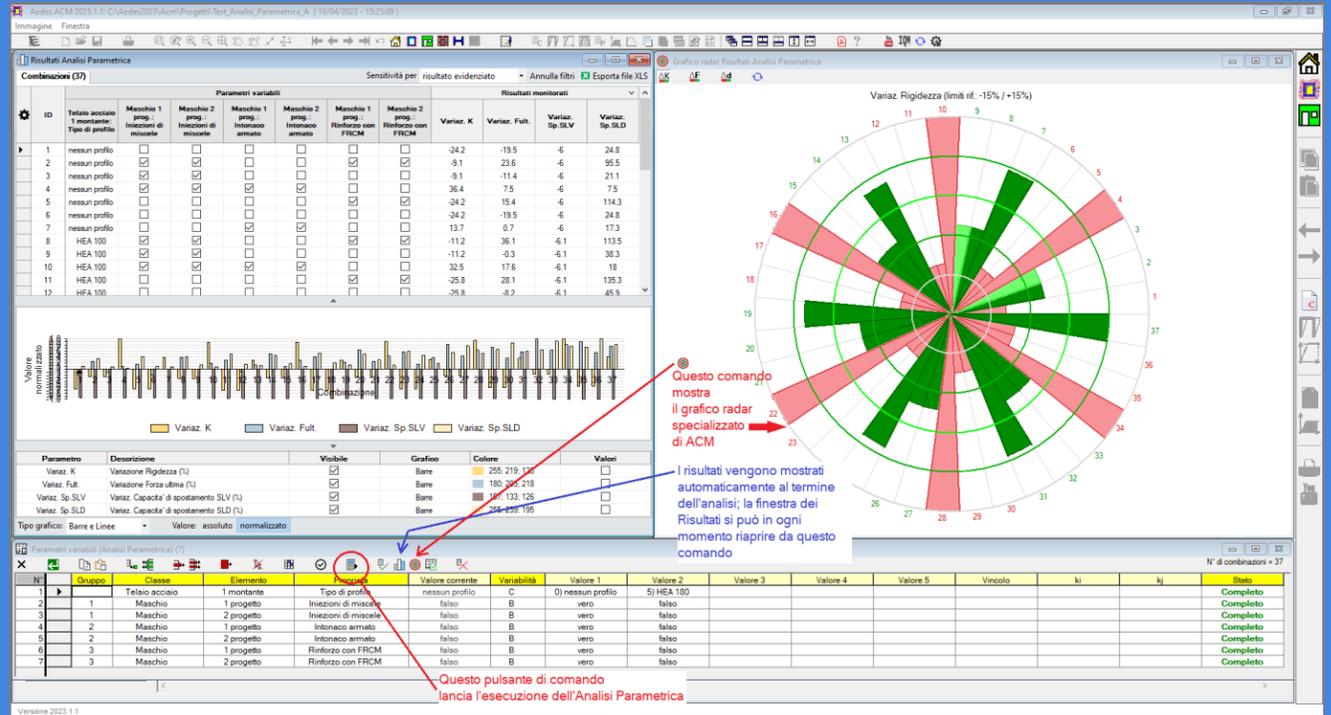
- la determinazione della Classe di Rischio dello Stato Attuale;
- la determinazione della Classe di Rischio dello Stato di Progetto;
- il confronto tra le curve di perdita economica e tra le classi di Rischio allo stato attuale e allo stato di progetto.

Il report della Classificazione sismica può essere consultato su schermo e salvato su file PDF.

## Aedes.ACM 2023

### Analisi Parametrica: ottimizzazione dell'intervento locale

Aedes.ACM 2023 introduce 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.



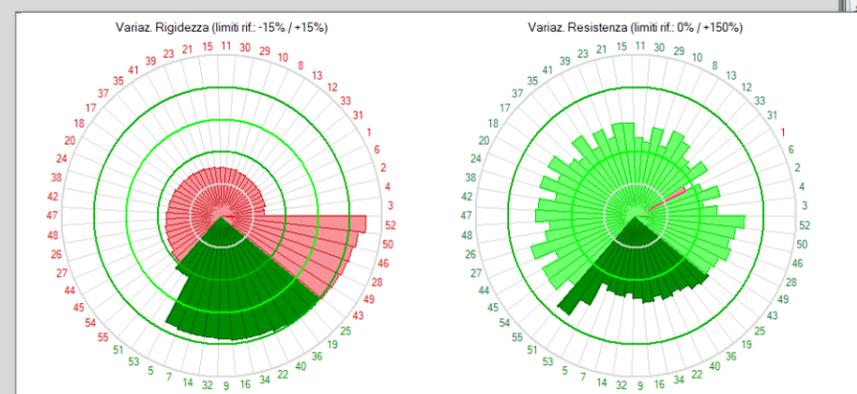
Scelto un insieme di parametri variabili di progetto, si generano N combinazioni, ciascuna analizzata dall'Analisi Parametrica: in un **grafico radar specializzato**, consistente in un istogramma circolare, gli spicchi corrispondenti alle singole combinazioni vengono colorati con riferimento a due cerchi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



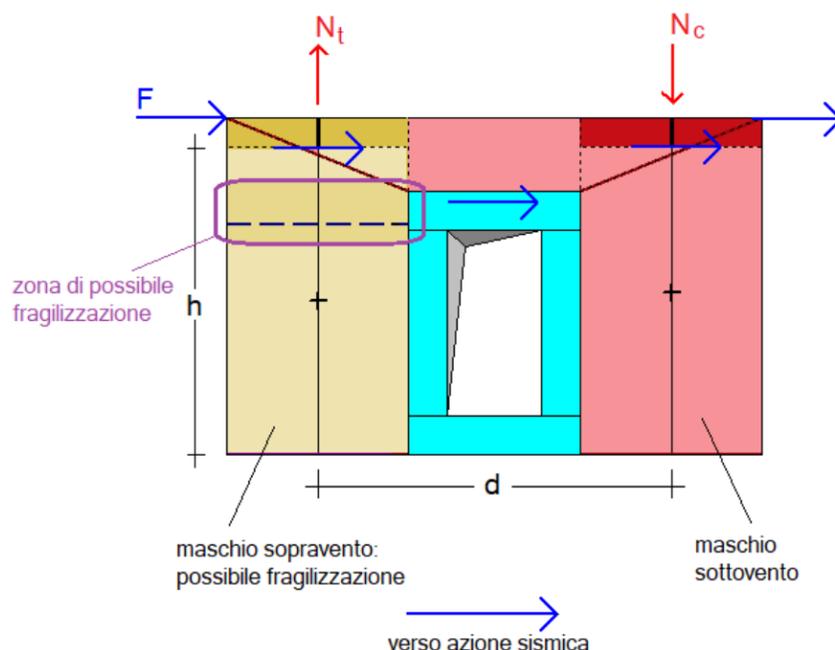
Aedes.ACM 2023.1.1: C:\Aedes2023\Acm\Progetti\Test_Analisi_Parametrica_B (19/04/2023 - 17:32:34)																
Risultati Analisi Parametrica																
Sensibilità per risultato evidenziato Annulla filtri Esporta file XLS																
Combinazioni (55)																
ID	Telaio acciaio 1 montante : Tipo di profilo	Parametri variabili										Risultati monitorati				
		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 FRCCM	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCCM	Variation K	Variation Fult.	Variation Sp.SLV	Variation Sp.SLD	
3	HEA 140															
4	HEA 140															
2	HEA 140															
6	HEA 140															
1	nessun profilo															
31	HEB 140															
33	HEB 140															
12	HEA 160															
13	HEA 160															
8	HEA 140															
10	HEA 140															
29	HEB 140															
30	HEB 140															
11	HEA 160															
15	HEA 160															
21	HEA 180															
23	HEA 180															
<b>Δ Variation K</b>	<b>1.835</b>	0.194	0.194	0.194	0.143	0.143	0.143	1.625	1.625	1.343	1.343					

## Aedes.ACM 2023

### Nuove funzionalità

#### Controllo di fragilizzazione dei maschi sopravento

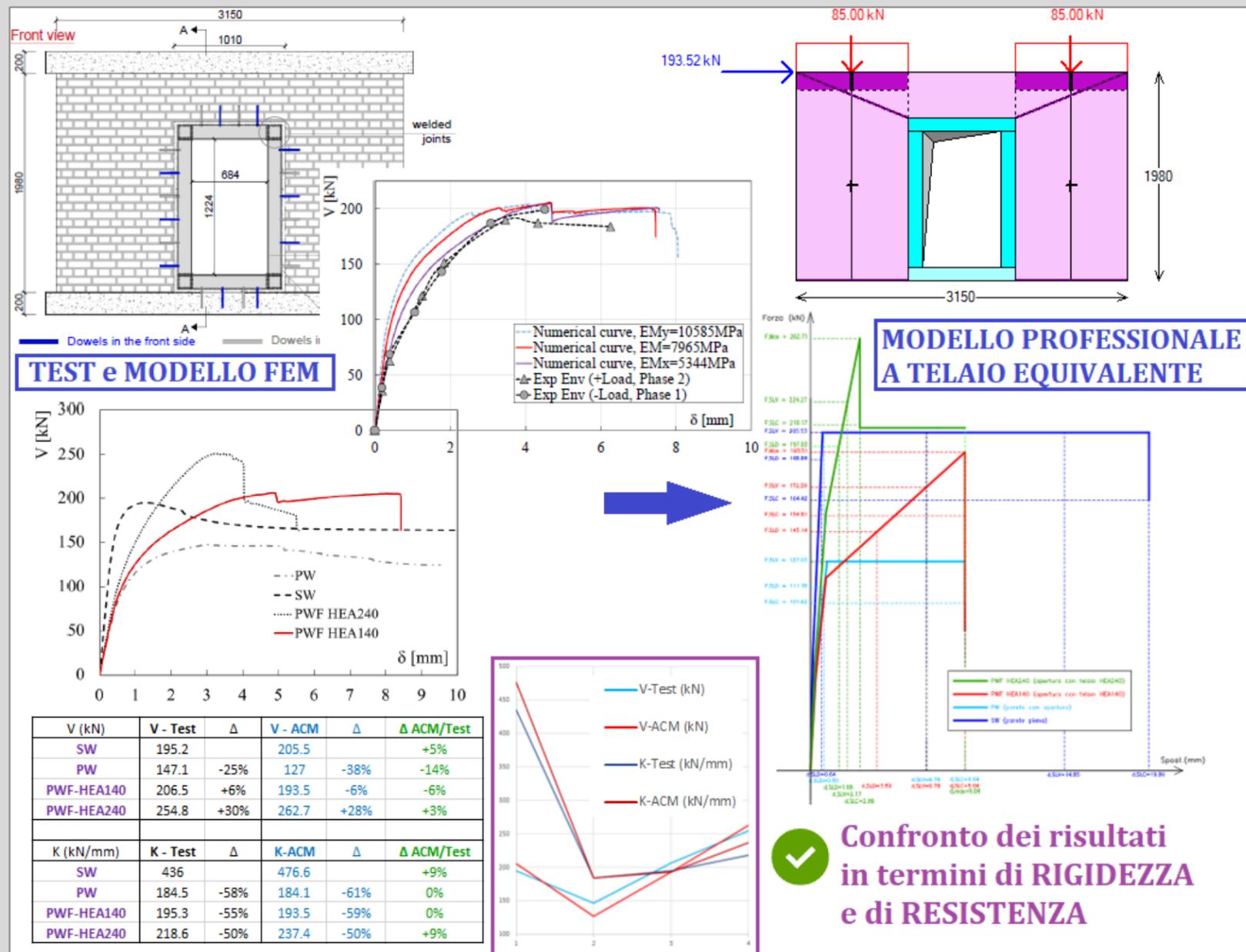
Aedes.ACM 2023 introduce la **gestione della crisi per trazione** che può insorgere in un maschio murario adiacente ad un telaio di cerchiatura qualora il **telaio** abbia **resistenza eccessiva** e tenda ad assorbire tutta la forza sismica orizzontale. Grazie a questo controllo, profili del telaio troppo 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:

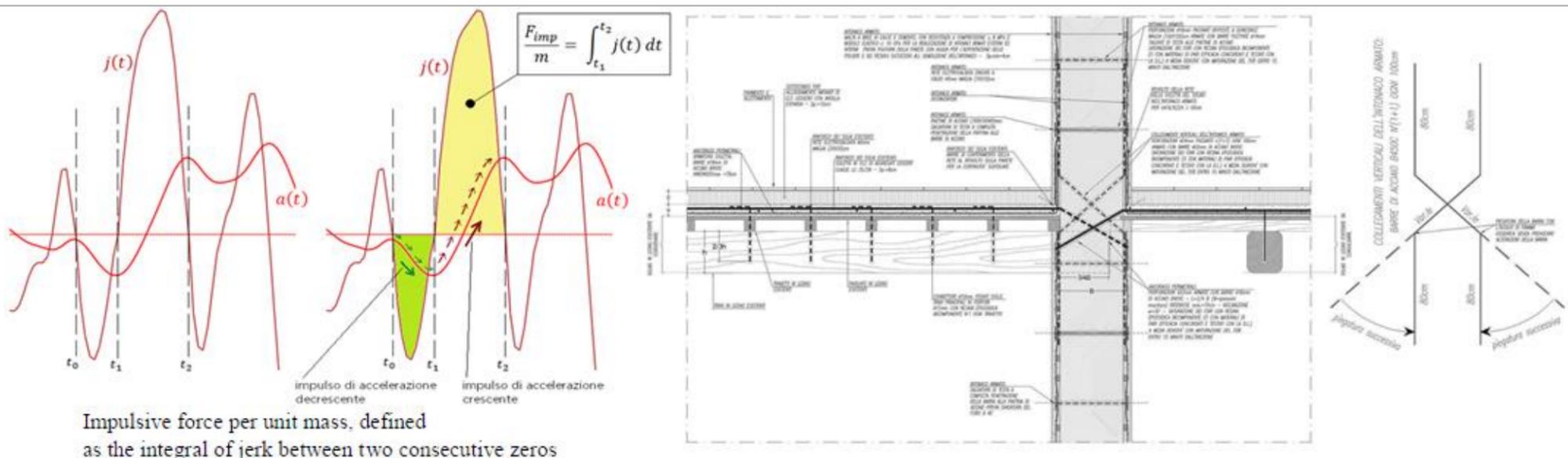
- la **corretta rappresentazione dei risultati** sperimentali e numerici ottenuti dal test
- la possibilità di individuare una **soluzione progettuale efficace** e rispondente ai requisiti di sicurezza richiesti dalla Normativa vigente.



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 2023



## Aedes.SLC 2023

### Azioni sismiche impulsive ed effetti sui nodi di collegamento

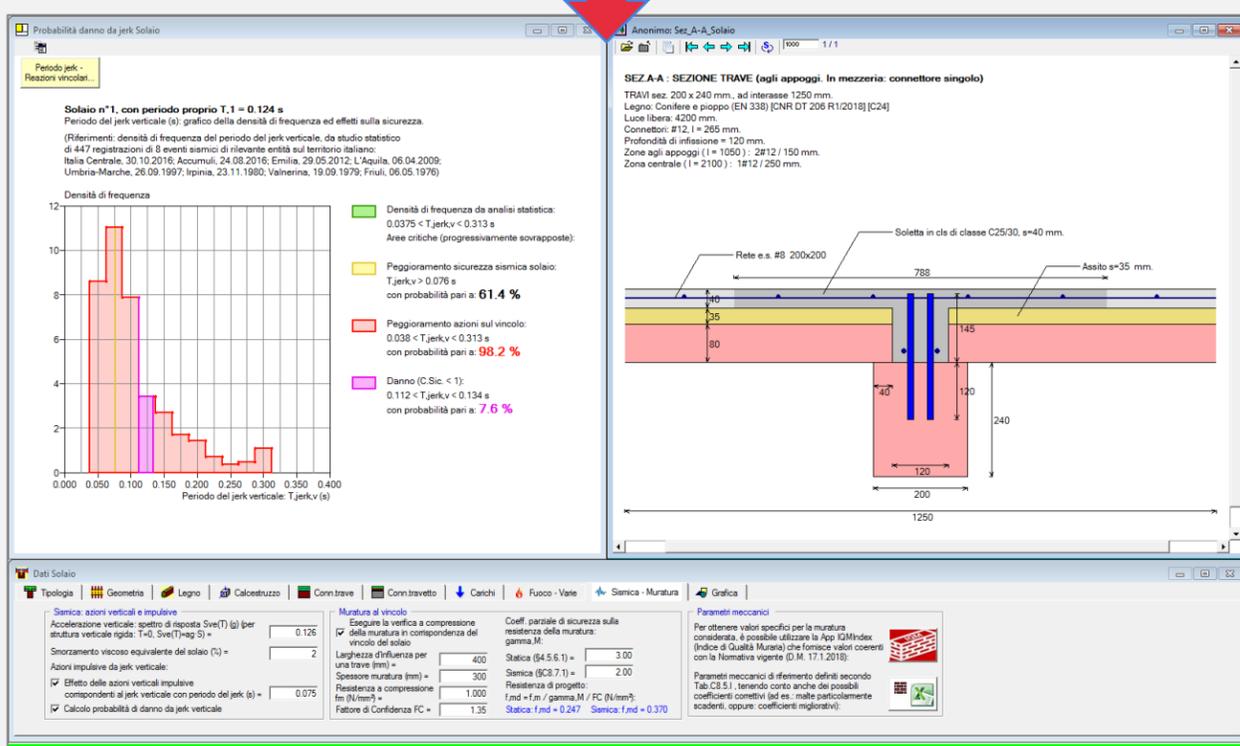
Immagine tratta dall'articolo scientifico: Mariani M., Pugi F.:  
Effects of impulsive actions due to seismic jerk and local failures in masonry structures, EuroDyn 2020, Athens, Greece, 23-26 November 2020

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 2023 consente l'**analisi delle probabilità di danno per azioni sismiche impulsive**, calcolata in base al comportamento dinamico del solaio.



Aedes.SLC 2023: Analisi degli effetti delle azioni sismiche impulsive sul nodo solaio - parete muraria

# Aedes versioni 2023

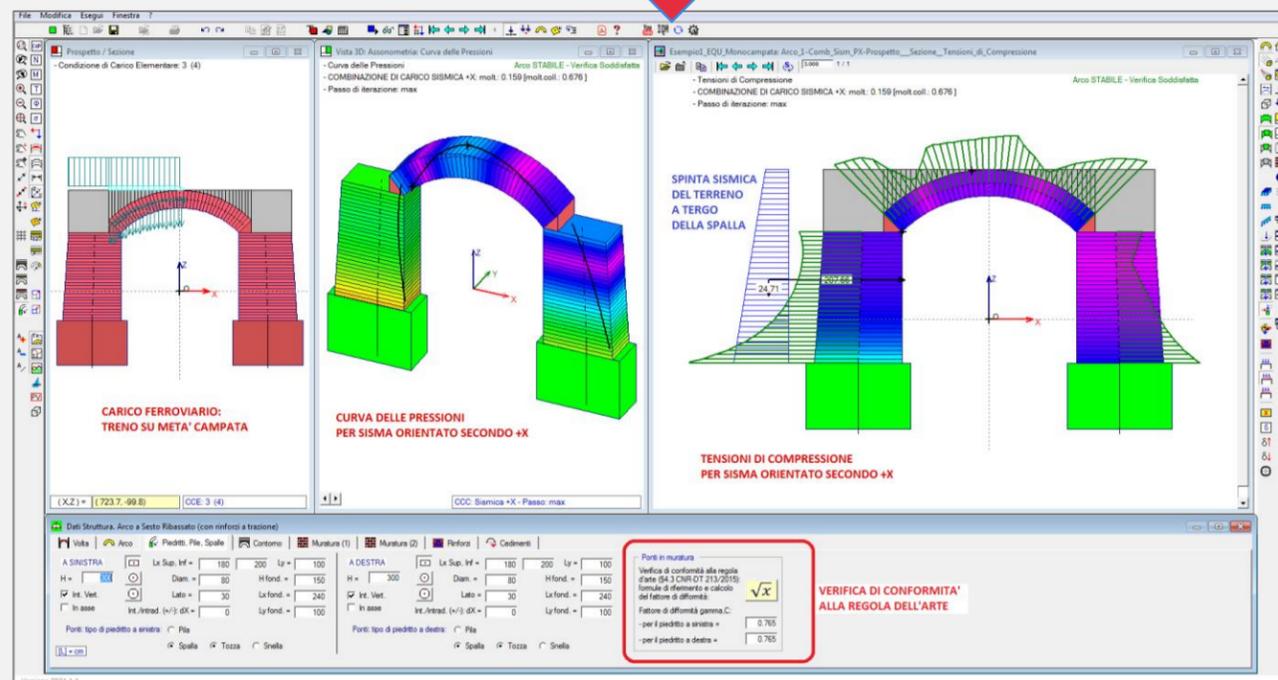
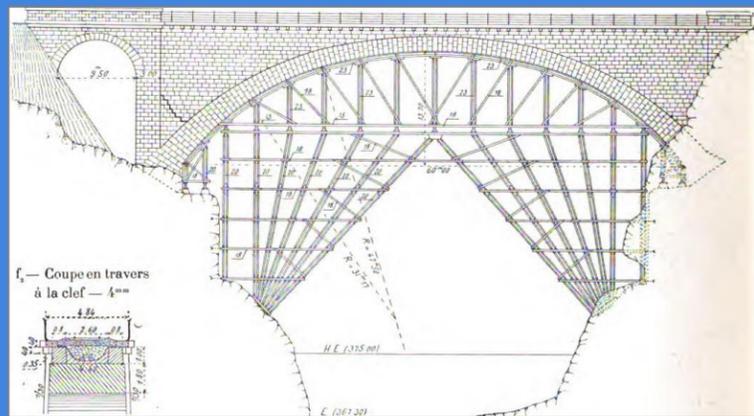
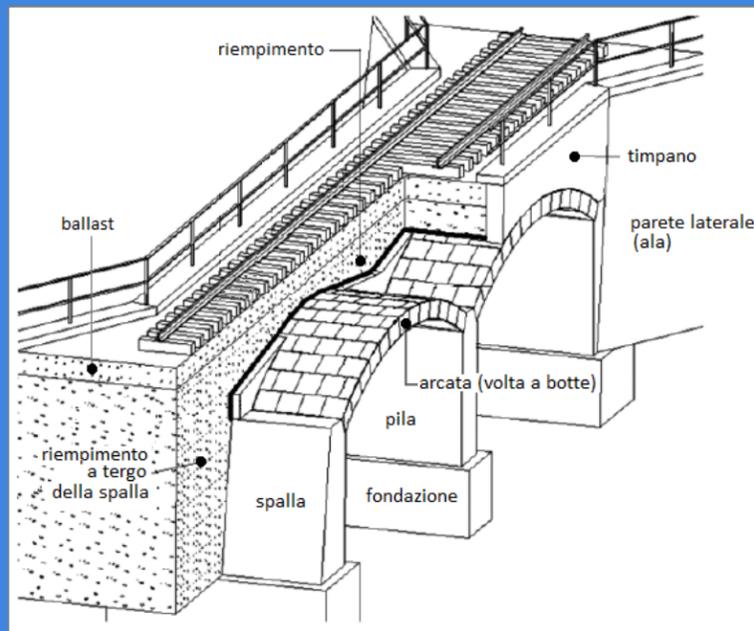
## Aedes.SAV 2023

### Analisi statica e sismica di ponti in muratura

Aedes.SAV 2023 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.

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.

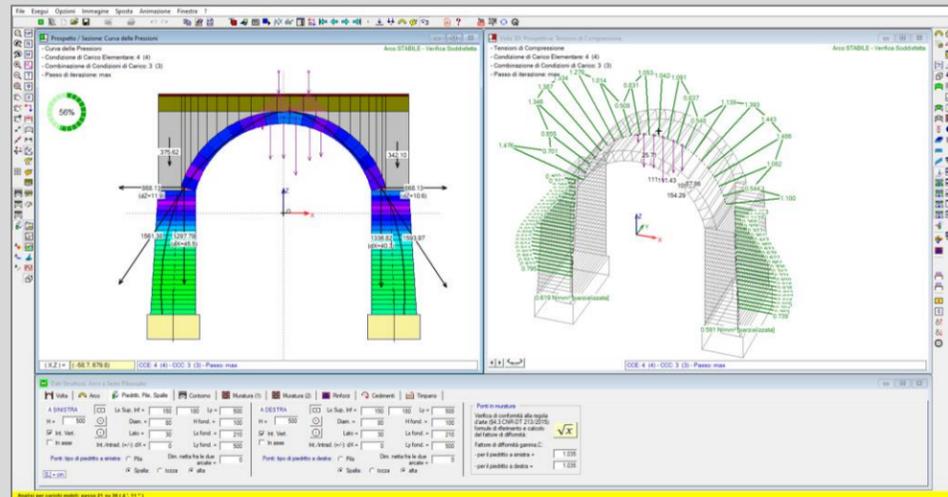
L'incremento di spinta del terreno dovuto all'azione sismica viene distinto fra i casi di spalla snella (metodo di Mononobe-Okabe) o tozza (metodo di Wood).

## Analisi parametrica per carichi mobili

La versione 2023 di 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.



# App IQMIndex

## Indice di Qualità Muraria

Il 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](http://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

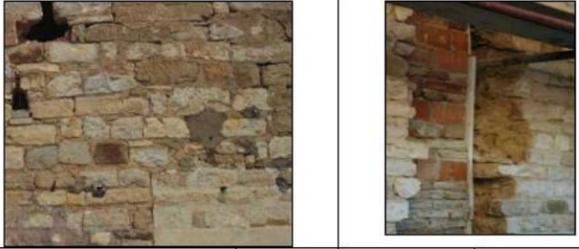
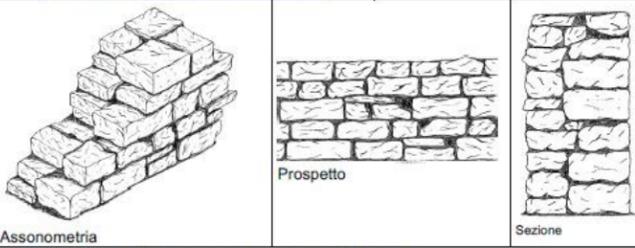
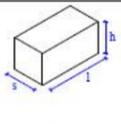
corrette metodologie di valutazione di capacità delle murature esistenti, nell'ottica di una crescita culturale condivisa.



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.

SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 06		
								FOTO		
										
DESCRIZ.								MATERIALI		
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. 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: $s = 12 \div 25$ cm $h = 8 \div 18$ cm $l = 15 \div 30$ 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
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.								LMT (sezione)	126	138
								IQM	7	6,5
Parametri meccanici: valori MIN-MAX								$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )
								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.