

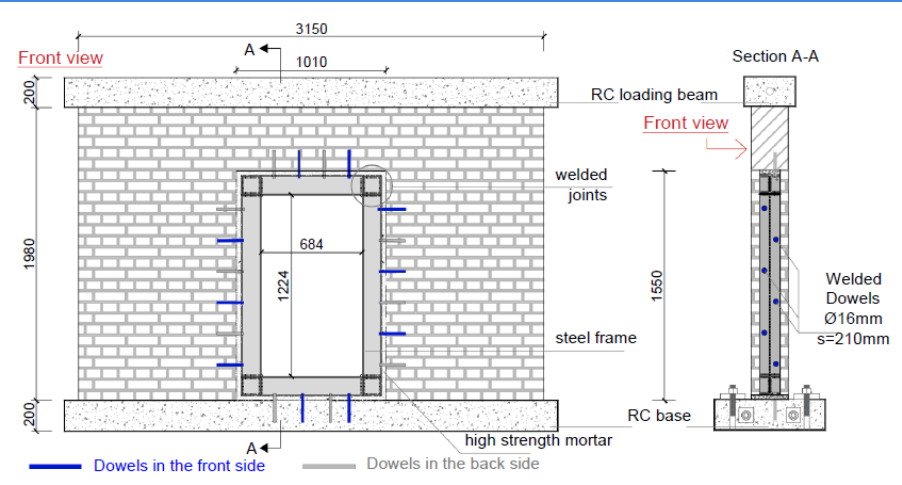
## Aedes.ACM 2026

### Aperture e telai di cerchiatura con effetti degli ancoraggi telaio-muratura

Gli interventi di consolidamento su costruzioni esistenti in muratura implicano la necessità di garantire **collegamenti efficaci fra i vari elementi strutturali**. I progetti riguardanti aperture con telai di cerchiatura prevedono in generale **un sistema di ancoraggio per il collegamento fra telaio e muratura adiacente**.

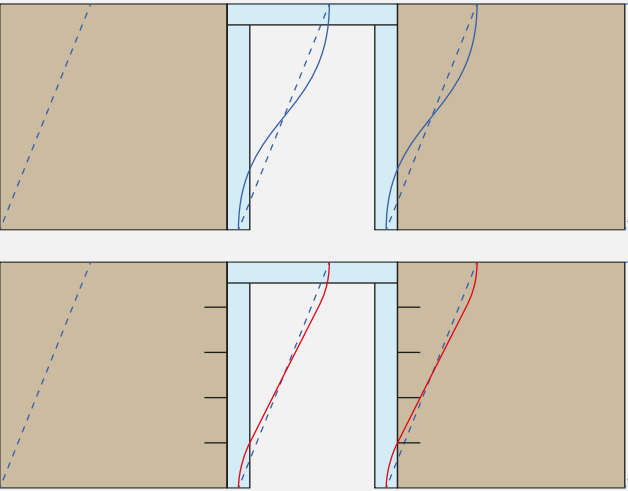
Gli effetti strutturali degli ancoraggi che in una parete con apertura collegano telaio e muratura sono stati **finora frequentemente trascurati in àmbito professionale**; tuttavia, studi accademici condotti con metodi FEM e test sperimentali hanno mostrato la **rilevanza di tali effetti**.

Per **analizzare correttamente il sistema muratura-telaio con ancoraggi** nelle applicazioni professionali, Aedes.ACM propone una metodologia **innovativa** inquadrata nella consueta procedura di composizione in parallelo delle capacità degli elementi costitutivi. È così possibile includere agevolmente nelle valutazioni di sicurezza il contributo offerto dal sistema di ancoraggio.



Tipico sistema di collegamento telaio-muratura con disposizione degli ancoraggi alternata lungo l'elevazione\*

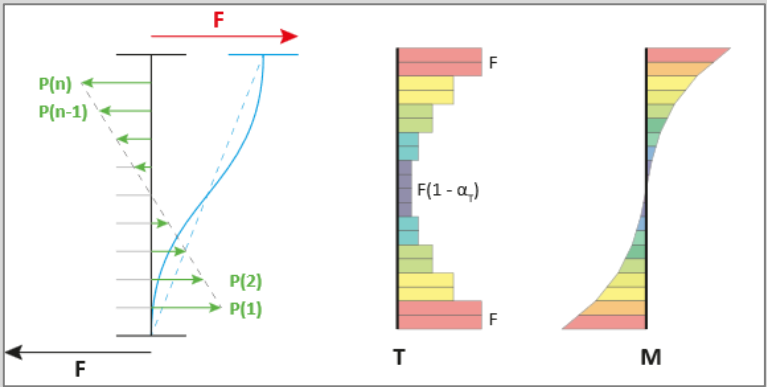
In una parete in muratura rinforzata con un telaio di cerchiatura il comportamento strutturale sotto azione sismica longitudinale è caratterizzato da una differente modalità deformativa tra il telaio e i maschi murari adiacenti.



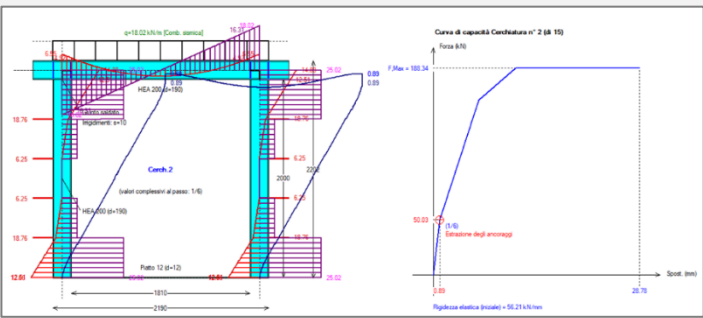
Il telaio di cerchiatura, per sua natura snella e flessibile, tende a deformarsi prevalentemente per flessione: la deformata assume quindi un andamento curvilineo, con rotazioni nulle in corrispondenza degli estremi incastrati. I maschi murari, invece, soprattutto se caratterizzati da bassa snellezza (maschi tozzi), manifestano un comportamento dominato dalla deformazione tagliante, che si traduce in una deformata pressoché lineare.

Quando i montanti del telaio sono opportunamente collegati ai maschi murari tramite sistemi di ancoraggio efficaci, il loro comportamento non è indipendente: nella zona di vincolo essi sono costretti a adattarsi al campo di spostamenti dei maschi tozzi, assumendo quindi una deformata localmente più vicina a quella lineare che caratterizza gli elementi murari.

Aedes.ACM propone una **metodologia innovativa** per considerare l'effetto degli ancoraggi in un modello in cui il telaio di cerchiatura viene analizzato separatamente dal resto della parete. Gli ancoraggi sono tenuti in conto attraverso una **serie di carichi concentrati applicati lungo l'asta**, la cui entità dipende dalla rigidità del sistema di ancoraggio. Si definisce un coefficiente denominato  $\alpha_T$ , compreso fra 0 e 1, pari alla frazione dell'azione tagliante (F) all'estremo del montante che si assume venga trasferita agli ancoraggi presenti sul cosiddetto *braccio del taglio*. La formulazione con cui vengono determinate le forze agenti sul montante in corrispondenza degli ancoraggi dipende dalle **condizioni di vincolo** ipotizzate.



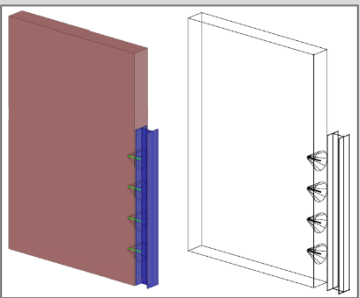
Schema shear-type: forze equivalenti negli ancoraggi, diagramma di taglio (T) e momento (M)



La **curva di capacità** del telaio di cerchiatura descrive la risposta del telaio sotto l'azione di una forza orizzontale F applicata in sommità con valori progressivamente crescenti. Qualora i maschi murari adiacenti al telaio presentino una rigidità elevata e una snellezza ridotta, con una deformata determinata prevalentemente dal taglio e quindi di tipo lineare, e i montanti del telaio risultino collegati a tali maschi tramite opportuni sistemi di ancoraggio, oltre alla forza F si considerano anche le **forze equivalenti degli ancoraggi**.

Ad ogni passo dell'analisi incrementale vengono verificate le condizioni di sicurezza sia per le sezioni di estremità degli elementi del telaio (montanti, architrave, traverso inferiore, incluso i giunti) sia per il sistema di ancoraggio.

La **verifica di resistenza del sistema di ancoraggio** consiste nel controllare che la massima forza di trazione in ciascun ancoraggio sia inferiore alla sua capacità in termini di resistenza. Questa si considera governata dal **meccanismo di estrazione** che chiama in causa la resistenza a taglio della muratura: si assume che la porzione di muratura coinvolta sia assimilabile a una superficie tronco-conica sulla quale agisce la tensione tangenziale massima di progetto  $\tau_d$  sviluppabile dal materiale.



\* Vera M.Y.O., Metelli G., Barros J.A.O. Barros, Plizzari G.A.: Effectiveness of a steel ring-frame for the seismic strengthening of masonry walls with new openings, Engineering Structures 226, 2021

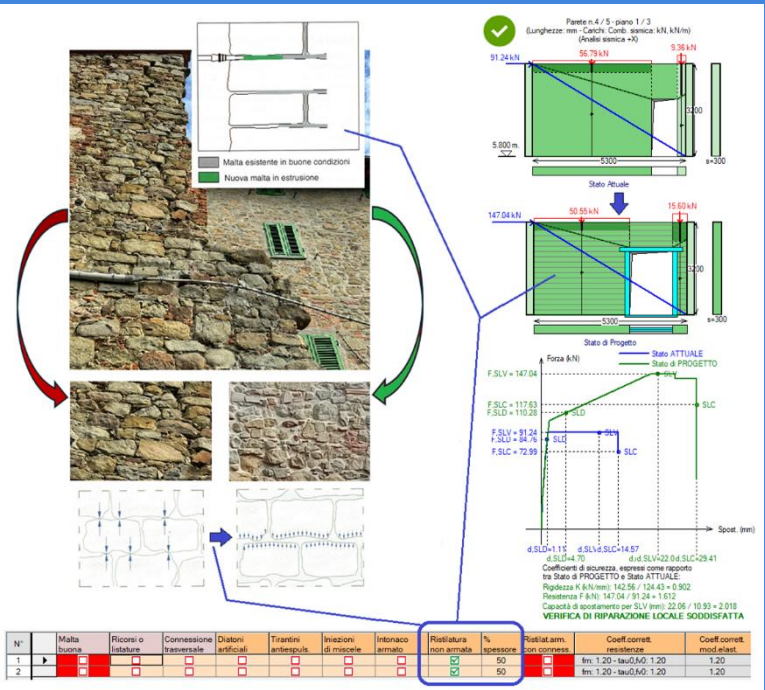
## Aedes.ACM 2026

### Interventi locali su murature scadenti: disgregazione, ristilatura dei giunti

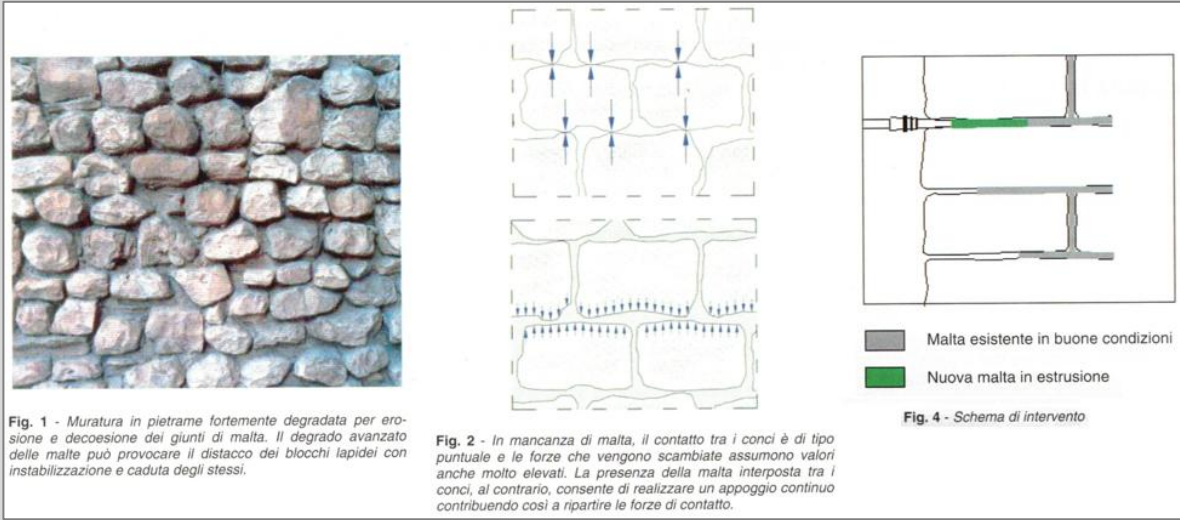
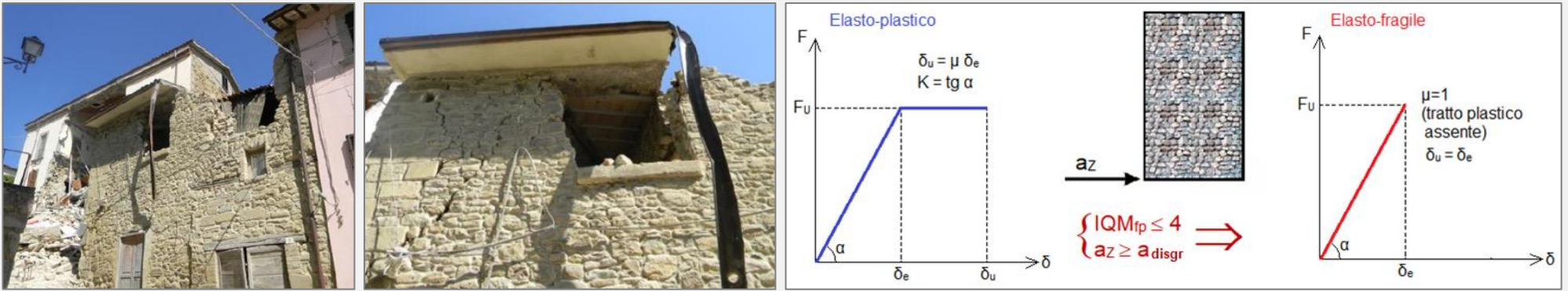
Il fenomeno della **disgregazione** è evidenziato esplicitamente nei contenuti della Normativa Tecnica. In §C8.7.1.2.1, dedicato all'analisi dei meccanismi locali, si specifica che “la rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile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

Aedes.ACM consente 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.

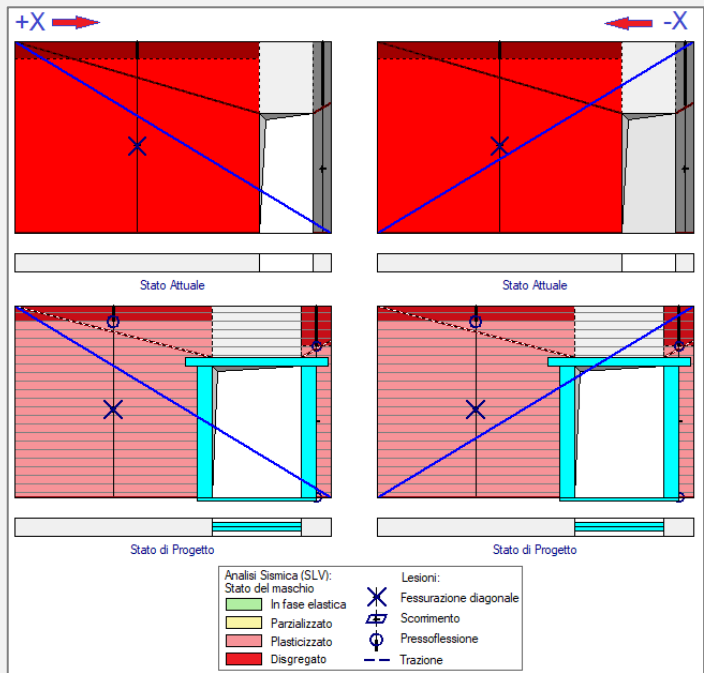


In tali casi, la rigenerazione della muratura, ad esempio tramite ristilatura profonda dei giunti di malta, è da considerarsi indispensabile.

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



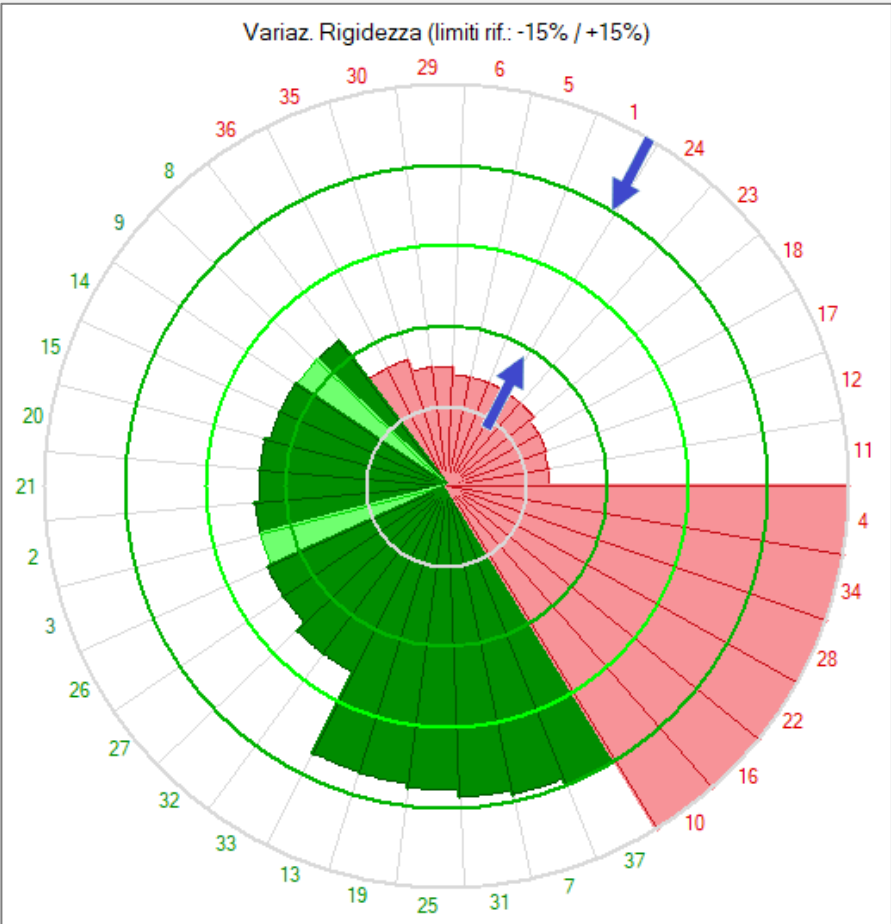
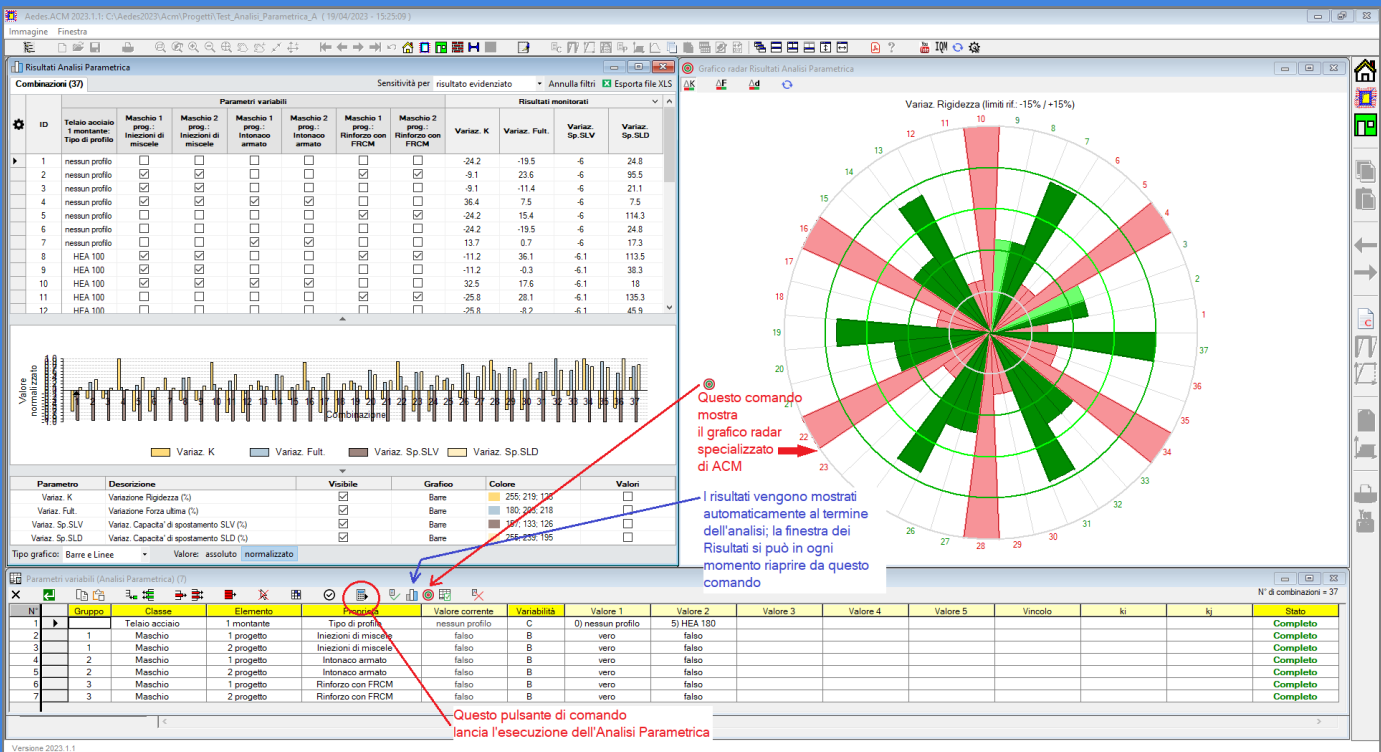
Verifica di una parete: disgregazione allo stato attuale, rigenerazione della malta allo stato di progetto



# Aedes.ACM 2026

## 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 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.

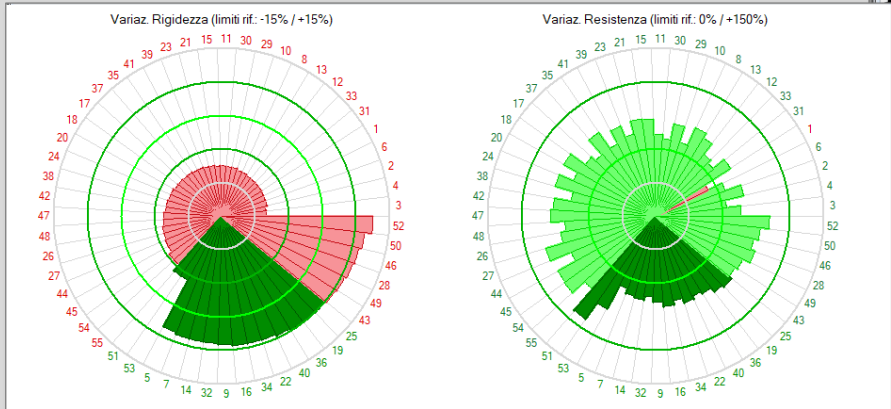


Scelto un insieme di parametri variabili di progetto, si generano N combinazioni, ciascuna analizzata dall'Analisi Parametrica: in un **grafico radar specializzato**, consistente in un istogramma circolare, gli spicchi corrispondenti alle singole combinazioni vengono colorati con riferimento a due cerchi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



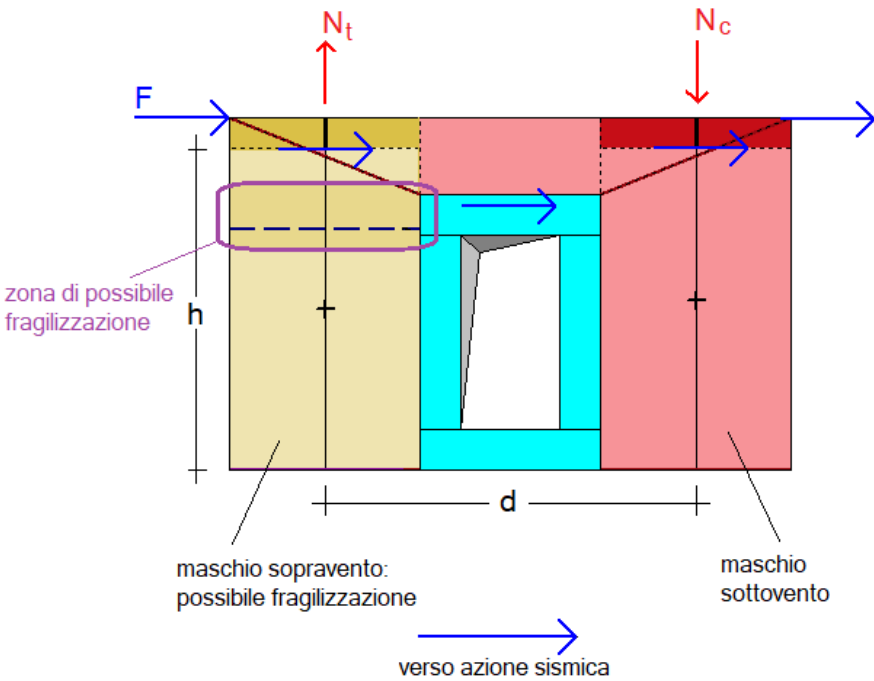
Parametri variabili														Risultati monitorati			
ID	Telaio acciaio 1 montante: Tipo di profilo	Maschio 1 prog.: Iniezione di miscela	Maschio 2 prog.: Iniezione di miscela	Maschio 1 prog.: Intonaco armato	Maschio 2 prog.: Intonaco armato	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCC	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCC	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCC	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCC	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCC	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCC	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											-24.2	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	1.343

# Aedes.ACM 2026

Funzionalità avanzate e procedure di validazione

## Controllo di fragilizzazione dei maschi sopravento

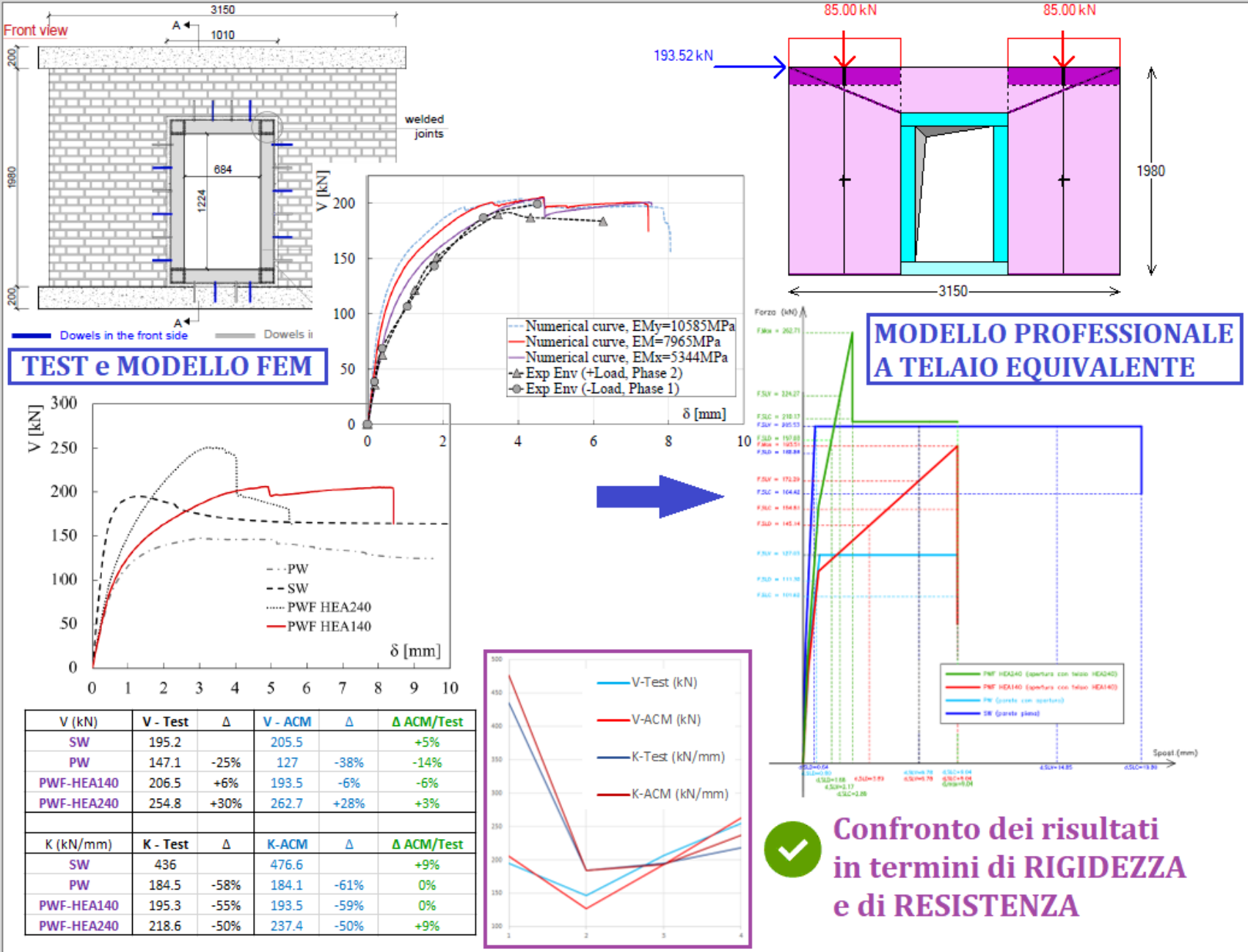
Aedes.ACM propone la **gestione della crisi per trazione** che può insorgere in un maschio murario adiacente ad un telaio di cerchiatura qualora il **telaio** abbia **resistenza eccessiva** e tenda ad assorbire tutta la forza sismica orizzontale. Grazie a questo controllo, profili del telaio troppo resistenti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