

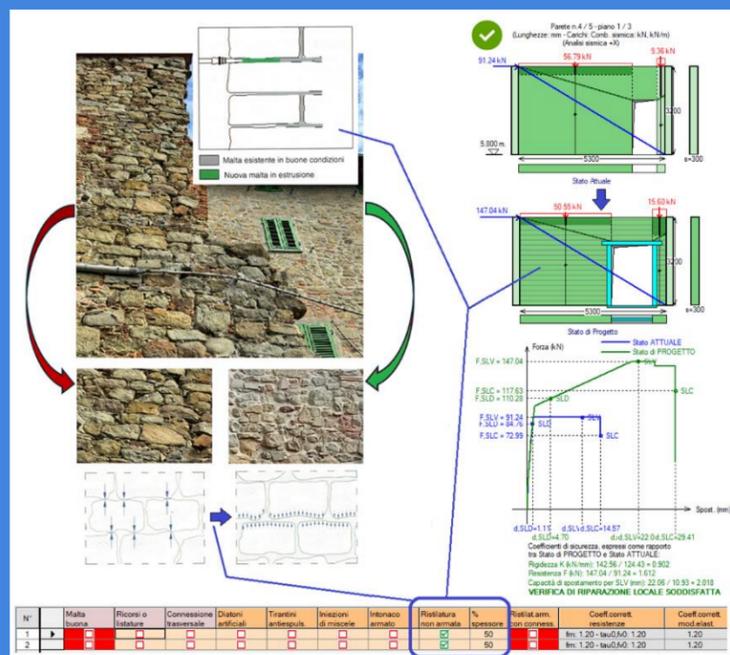
Aedes.ACM 2025

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.

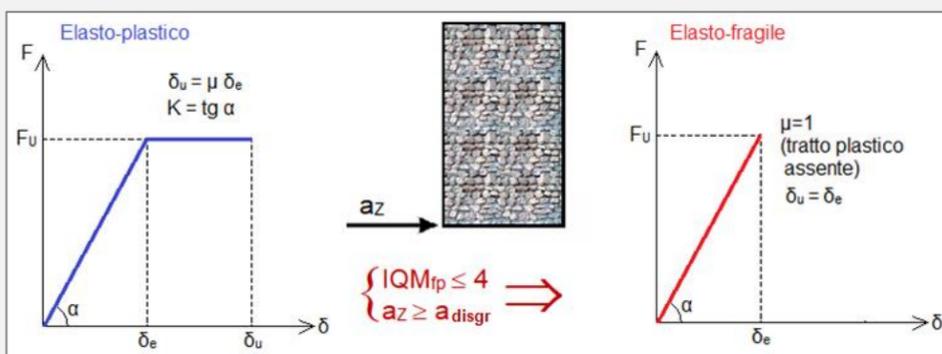


Fig. 1 - Muratura in pietraforte fortemente degradata per erosione e decoesione dei giunti di malta. Il degrado avanzato delle malte può provocare il distacco dei blocchi lapidei con instabilizzazione e caduta degli stessi.

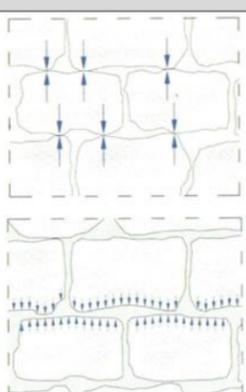


Fig. 2 - In mancanza di malta, il contatto tra i conci è di tipo puntuale e le forze che vengono scambiate assumono valori anche molto elevati. La presenza della malta interposta tra i conci, al contrario, consente di realizzare un appoggio continuo contribuendo così a ripartire le forze di contatto.

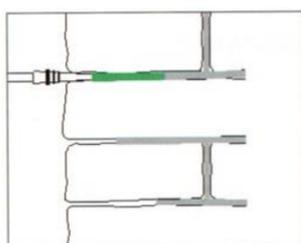


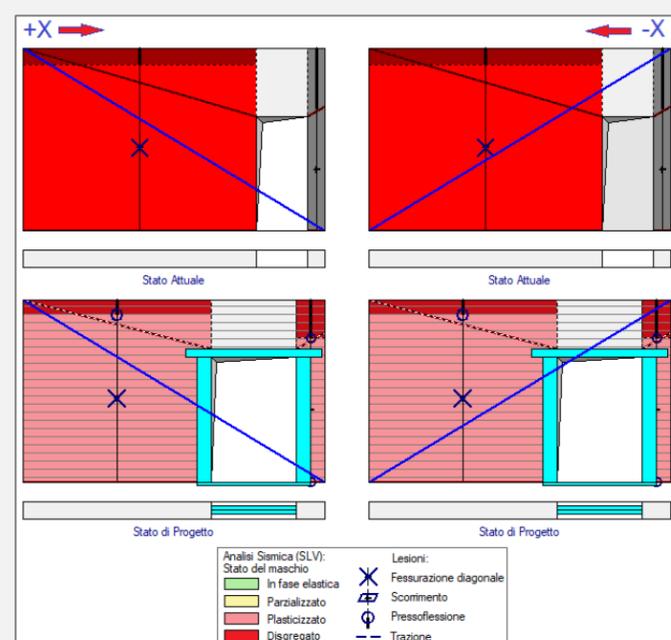
Fig. 4 - Schema di intervento

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

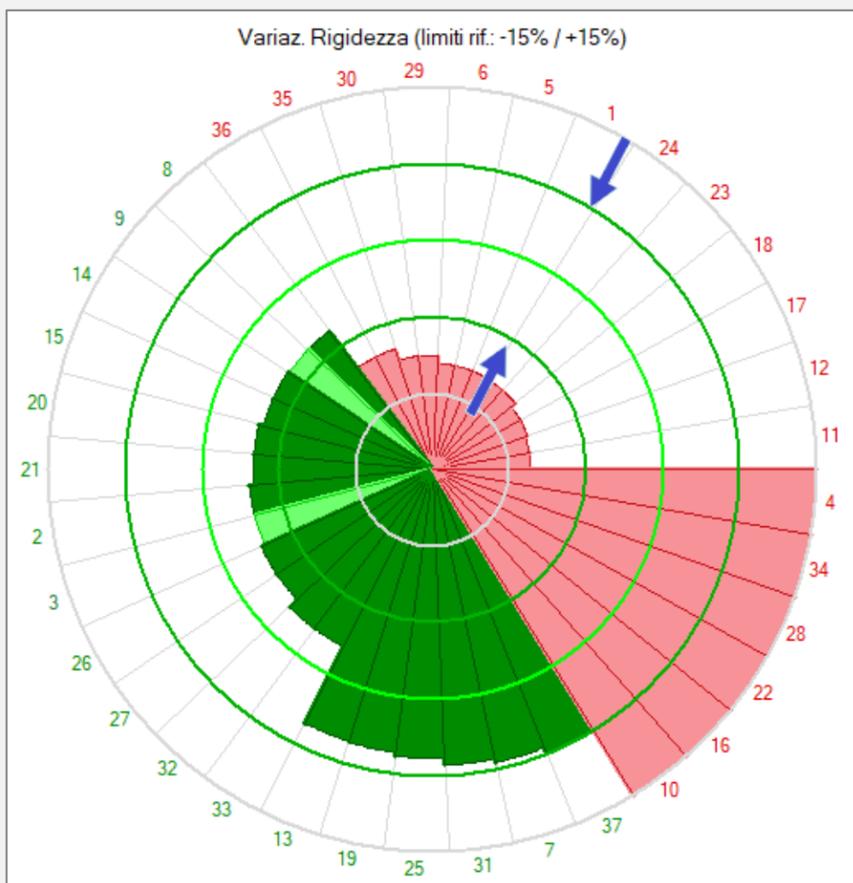
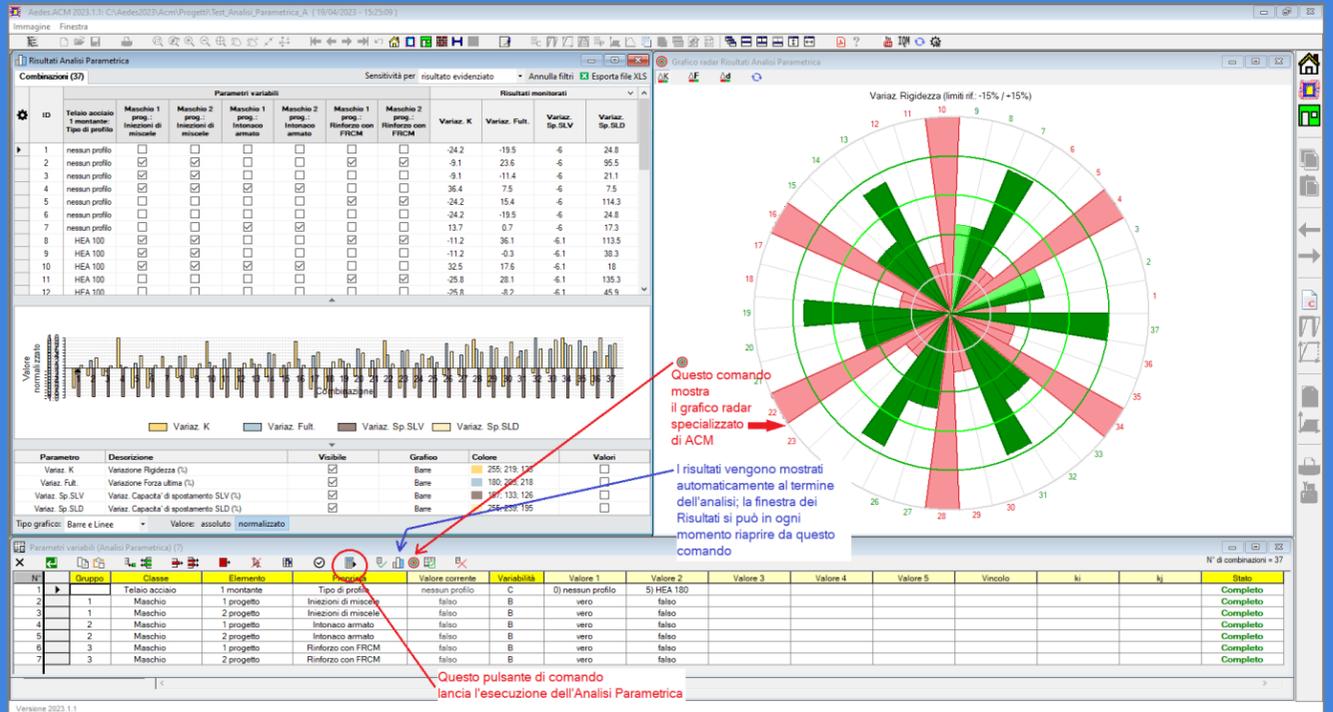


Verifica di una parete: disgregazione allo stato attuale, rigenerazione della malta allo stato di progetto

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.

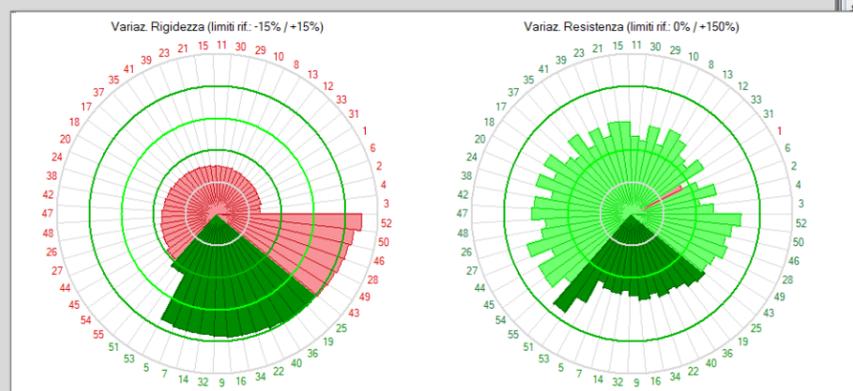


Scelto un insieme di parametri variabili di progetto, si generano N combinazioni, ciascuna analizzata dall'Analisi Parametrica: in un **grafico radar specializzato**, consistente in un istogramma circolare, gli spicchi corrispondenti alle singole combinazioni vengono colorati con riferimento a due cerchi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



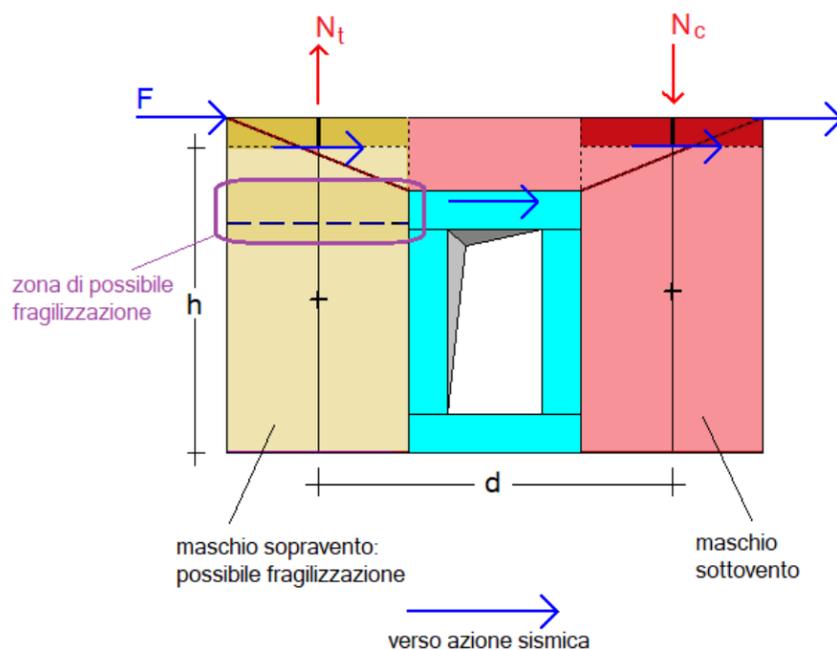
ID	Telaio acciaio 1 montante : Tipo di profilo	Maschio 1 prog.: Iniezioni di miscela	Maschio 2 prog.: Iniezioni di miscela	Maschio 1 prog.: Intonaco armato	Maschio 2 prog.: Intonaco armato	Maschio 1 prog.: Rinforzo con FRCCM	Maschio 2 prog.: Rinforzo con FRCCM	Variaz. K	Variaz. Fult.	Variaz. Sp.SLV	Variaz.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

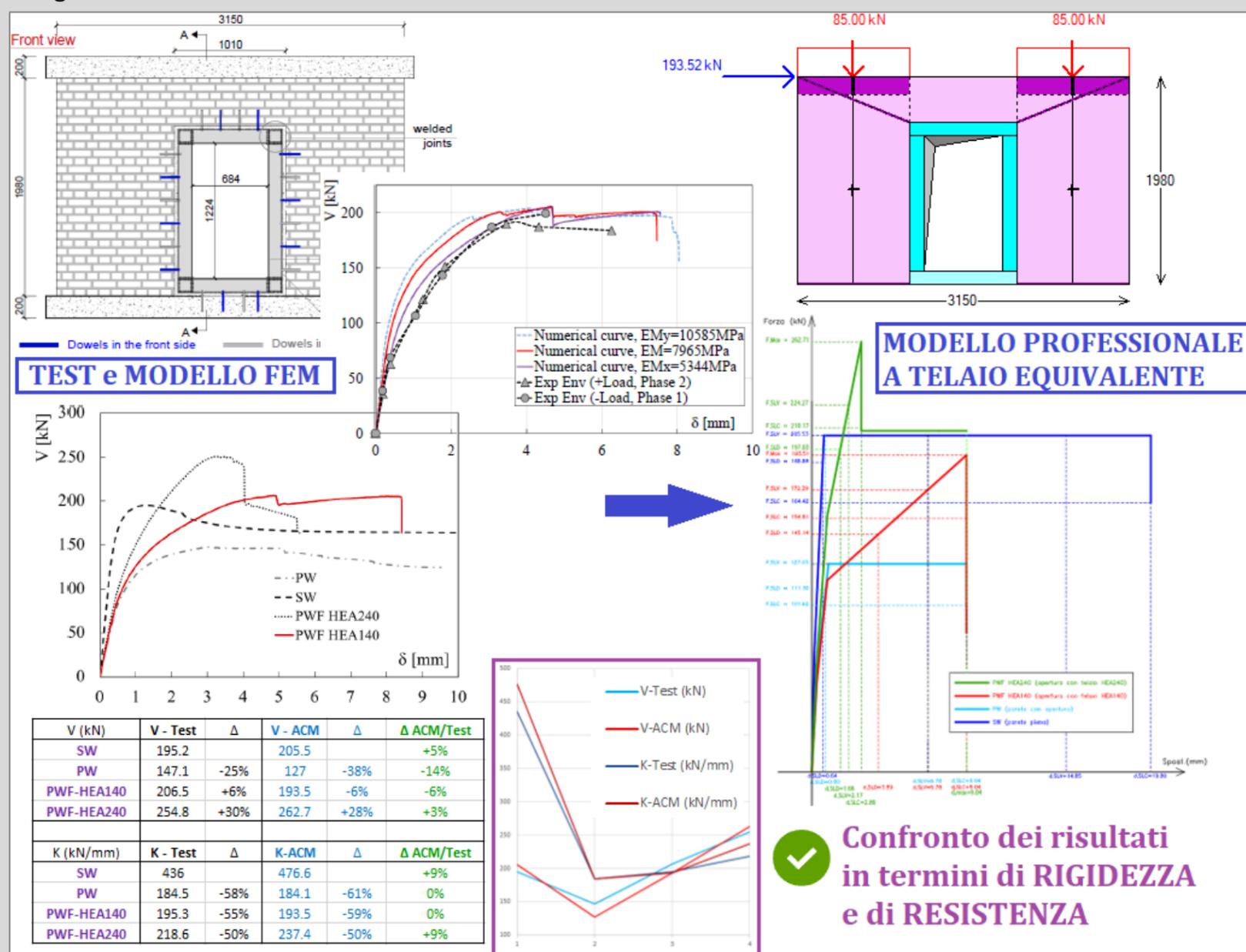
Aedes.ACM propone la **gestione della crisi per trazione** che può insorgere in un maschio murario adiacente ad un telaio di cerchiatura qualora il **telaio** abbia **resistenza eccessiva** e tenda ad assorbire tutta la forza sismica orizzontale. Grazie a questo controllo, profili del telaio troppo resistenti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

Aedes versioni 2022

Aedes.PCM 2022

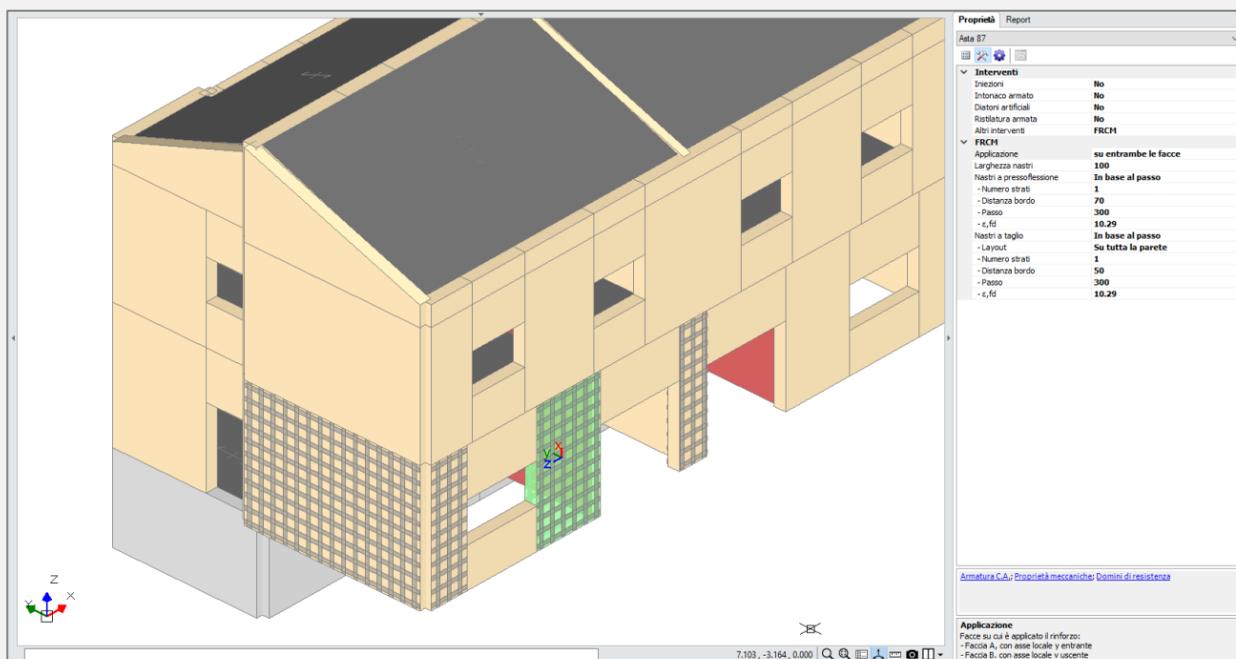
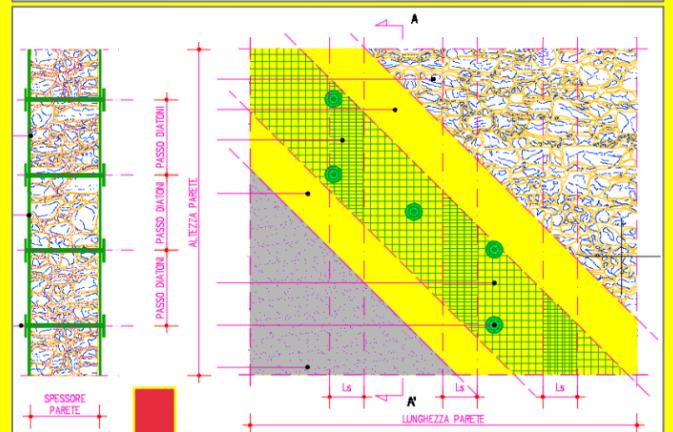
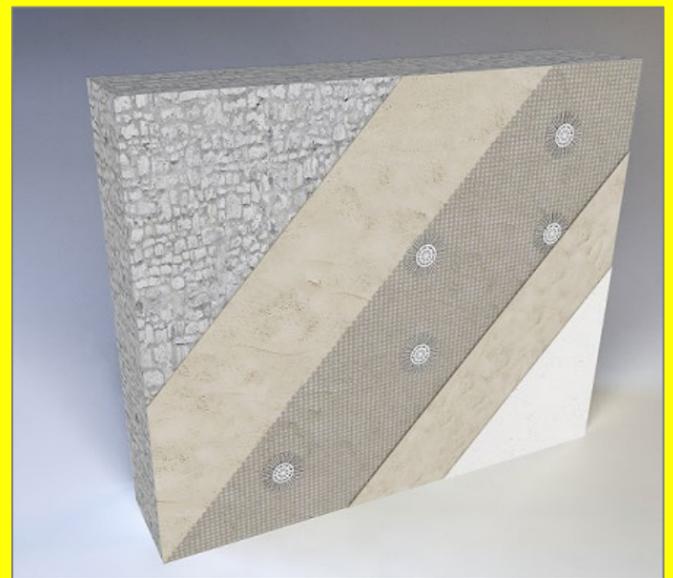
Aedes.ACM 2022

Rinforzi di pannelli e colonne in muratura con compositi fibrorinforzati FRCM

I pannelli murari e le colonne in muratura possono essere rinforzati con **materiali compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM)**. Le verifiche di sicurezza degli elementi rinforzati con FRCM sono svolte in accordo al documento **CNR-DT 215/2018 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica"**.

Rinforzo a flessione e taglio del maschio murario tramite FRCM.
Nell'esempio: GeoSteel Grid 200/400 di Kerakoll.

Fonte: Kerakoll, Manuale tecnico: Linea guida per consolidamento, rinforzo strutturale e sicurezza sismica con nuove tecnologie Green - web: <https://strutturale.kerakoll.com>



In **Aedes.PCM** per modellare un rinforzo con compositi FRCM si specificano le caratteristiche del composito nei Parametri di Calcolo e si definisce il layout del rinforzo nelle proprietà delle singole aste del modello strutturale.

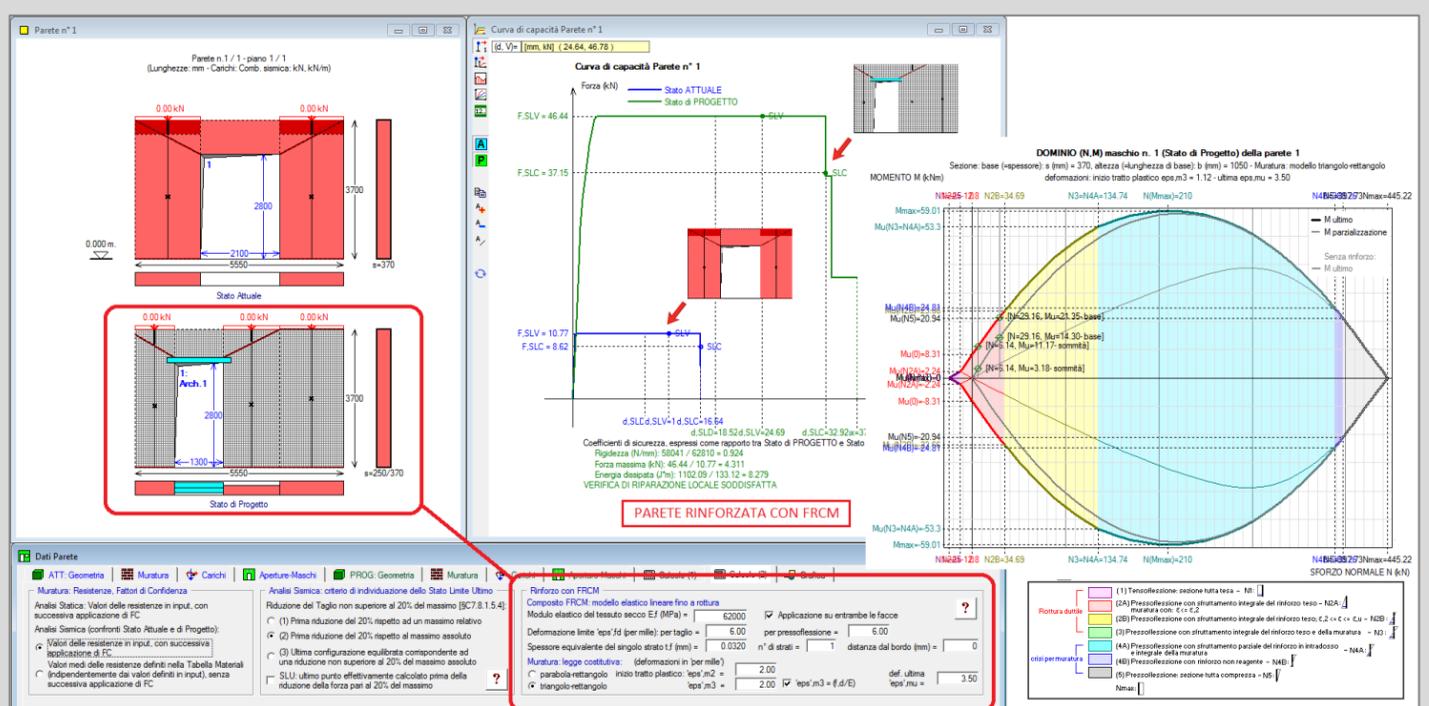
Il rinforzo di pannelli murari con FRCM consente di **migliorare la resistenza a pressoflessione e taglio** nel proprio piano nonché la resistenza per azioni fuori del piano.

Il **rinforzo di colonne in muratura** con FRCM consente di migliorare la resistenza a pressoflessione grazie al contributo di fibre disposte in direzione trasversale (confinamento) e/o longitudinale.

Normalmente le colonne sono rinforzate attraverso la predisposizione di un rivestimento continuo di composito. Ciononostante, la definizione del rinforzo prevede l'inserimento di nastri trasversali e longitudinali, permettendo di disaccoppiare i due contributi.

In **Aedes.ACM** i parametri del rinforzo vengono specificati in un'apposita sezione dei Dati Parete. Questa tipologia di intervento può essere assegnata ad **ogni elemento resistente della parete**: maschi e fasce corrispondenti alle aperture. Il comportamento strutturale si determina, come in Aedes.PCM, attraverso l'elaborazione del dominio di resistenza, dove viene proposto il **confronto fra la frontiera della parete originaria e quella espansa** grazie all'intervento con il composito. Il miglioramento della capacità resistente conduce ad una

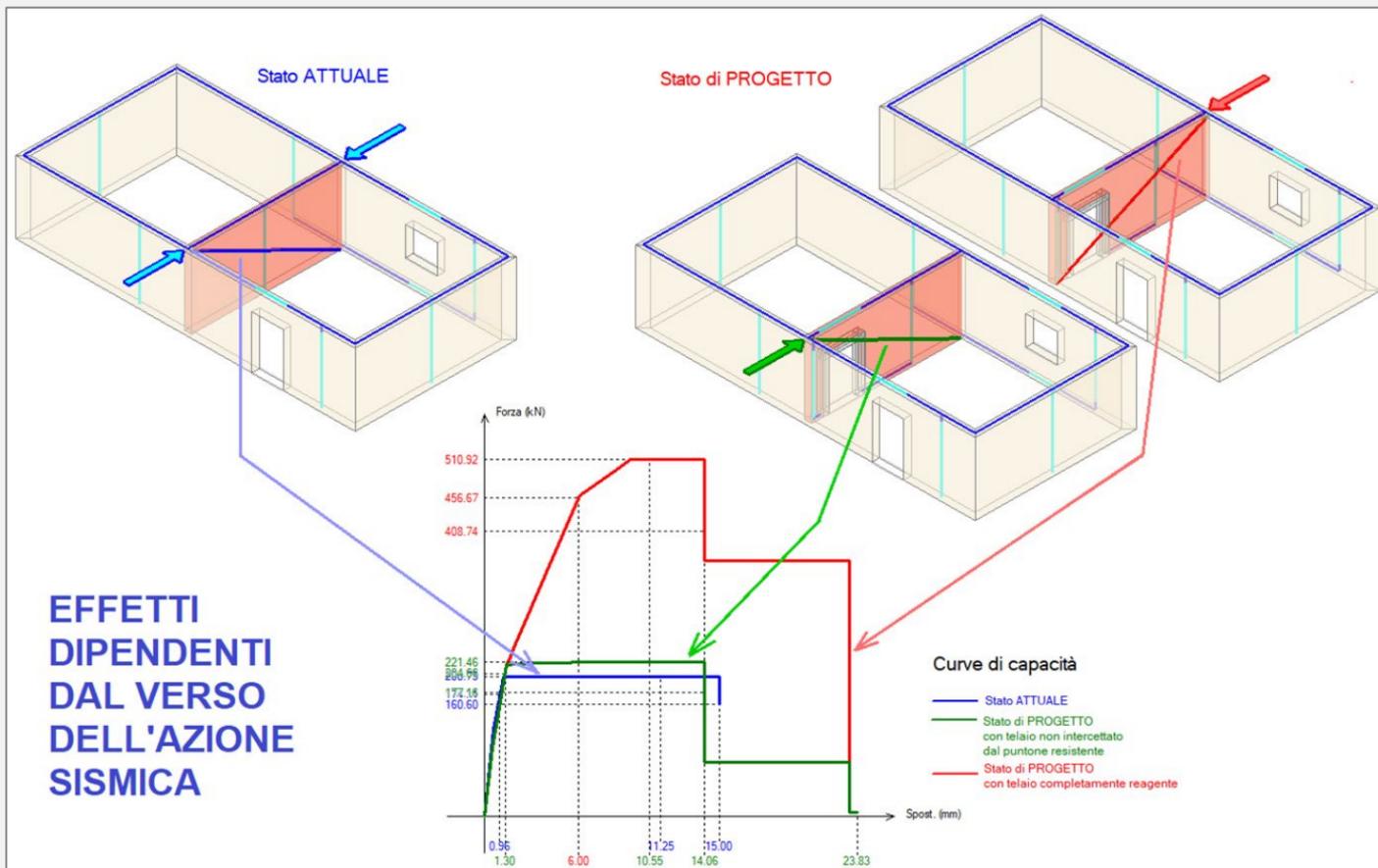
modifica della curva di capacità della parete e questo intervento antisismico può costituire una valida **alternativa alla realizzazione di telai di cerchiatura**, evitando le note problematiche associate al tradizionale intonaco armato.



Aedes.ACM 2022 Nuove funzionalità

Influenza del verso dell'azione sismica

Analisi ad elementi finiti con software avanzati hanno dimostrato che l'effetto dell'azione sismica complanare ad una parete muraria con apertura non centrale dipende dal verso dell'azione. **La forza orizzontale genera un percorso diagonale del flusso tensionale di compressione**, ossia un puntone che può investire o meno l'apertura a seconda della posizione di questa. Se l'apertura è intelaiata, la cerchiatura potrà esplicare la propria capacità completa, in termini di rigidezza, resistenza e duttilità, solo quando viene interessata dal puntone.



Nella versione 2022 di **Aedes.ACM** è disponibile una nuova procedura che consente di valutare gli **effetti del verso dell'azione sismica**. Il metodo implementato fornisce un valido contributo per evitare situazioni progettuali staticamente sconsigliabili: infatti ove venga a determinarsi l'inefficacia del telaio in posizione non centrale, ciò implica la necessità di spostare l'apertura a una distanza maggiore dal bordo in modo che possano attivarsi le **capacità di resistenza e duttilità della cerchiatura**.

Limiti su variazioni di rigidezza, resistenza e spostamento

Per gli interventi locali il DM 2018 richiede la dimostrazione che il progetto non modifichi significativamente rigidezza, resistenza nei confronti delle azioni orizzontali e capacità di deformazione della struttura.

È quindi necessario fare riferimento a **limiti in grado di garantire che l'intervento non riduca nell'edificio le condizioni di sicurezza preesistenti**.

Per tali limiti, **Aedes.ACM** fa riferimento ad un'indagine parametrica condotta studiando la relazione della parete oggetto di intervento con il comportamento della struttura complessiva a cui appartiene. Questi aspetti sono fondamentali, in quanto un **incremento eccessivo di resistenza locale** può determinare un peggioramento della sicurezza della struttura nel suo insieme.

