

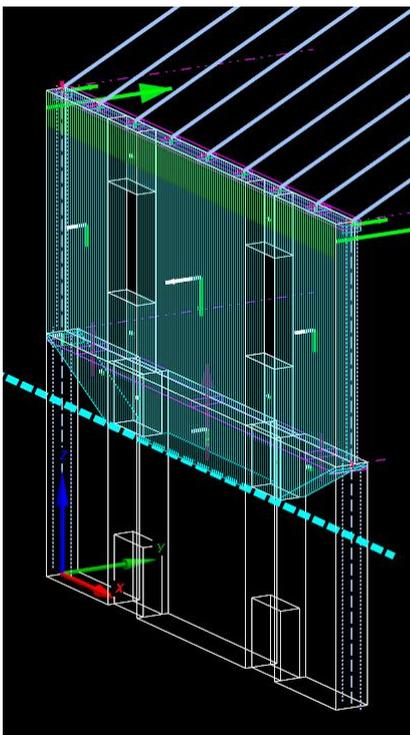
## 6.8 I MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO

Quando effettuiamo le usuali verifiche del cap.7 delle NTC stiamo ipotizzando che la scatola muraria funzioni correttamente come tale, ovvero che siano soddisfatte le ipotesi di orizzontamenti schematizzabili come piano rigido, che sia stata realizzata un'adeguata cucitura con cordoli etc., e che quindi i singoli pannelli lavorino correttamente nel loro piano.

Tuttavia, in presenza di particolari condizioni, e quindi nelle murature esistenti ( perché si suppone che quelle nuove siano costruite secondo le richieste di normativa ), questo funzionamento non è garantito, e le forze di inerzia orizzontali legate al sisma possono essere causa di rotture per meccanismi dovuti a una errata realizzazione della scatola muraria. Il/i meccanismo/i di rottura verso i quali verificare la struttura vanno individuati sulla base di un esame della situazione: non possono essere suggeriti dal software sulla base del modello. Il riconoscimento delle condizioni che predispongono all'attivazione di meccanismi locali di danno e di collasso e quindi la valutazione delle analisi cinematiche da eseguire nasce da un attento esame della struttura.

In queste verifiche locali, oggetto della verifica è una porzione isolata della struttura, individuata sulla base di sconessioni, presenti o potenziali. Dall'edificio viene quindi isolata una porzione di solido di muratura portante, considerato come *corpo rigido* per il quale studiare quale moltiplicatore delle forze inerziali attiva il *meccanismo di collasso* ipotizzato: questo moltiplicatore viene confrontato con quello dovuto all'azione sismica.

Dall'ambiente grafico tridimensionale, nel quale la struttura è stata descritta per essere verificata come scatola muraria, con il comando "*Murature → Meccanismi di collasso locali ...*" si accede all'ambiente di verifica di questi cinematismi : il comando richiede di selezionare un punto, che ha il compito di individuare il lato esterno della facciata, ovvero la direzione delle forze d'inerzia conseguenti al sisma, e successivamente un sottoinsieme di interpiani (in quanto lo studio del cinematismo si concentrerà solo su una parte della struttura).



Nell'ambiente di verifica dei cinematismi verranno poi individuati, all'interno della porzione di struttura importata, dei corpi rigidi definiti ritagliando dei *contorni di rottura*. Nell'analisi, si considererà nulla la resistenza a trazione della muratura, e infinita la resistenza a compressione della stessa. I corpi rigidi così definiti potranno ruotare o scorrere fra loro, secondo il meccanismo di verifica impostato. Per ogni meccanismo verrà valutato, applicando il Principio dei Lavori Virtuali, il *moltiplicatore dei carichi  $\lambda$*  che ne comporta l'attivazione.

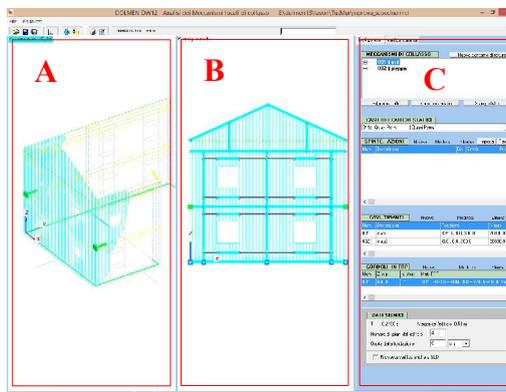
Per poter valutare questo moltiplicatore il programma applicherà ai corpi rigidi oggetto di valutazione le azioni esercitate su essi, ovvero :

- i pesi propri dei blocchi, applicati nei rispettivi baricentri
- i carichi verticali portati dagli stessi ( pesi della struttura sovrastante e carichi applicati agli elementi costituenti i blocchi, quali ad esempio carichi di solaio, carichi su asta, spinte delle volte )
- un sistema di forze orizzontali, proporzionale ai carichi verticali portati, rappresentanti le inerzie dovute al sisma, con massimo

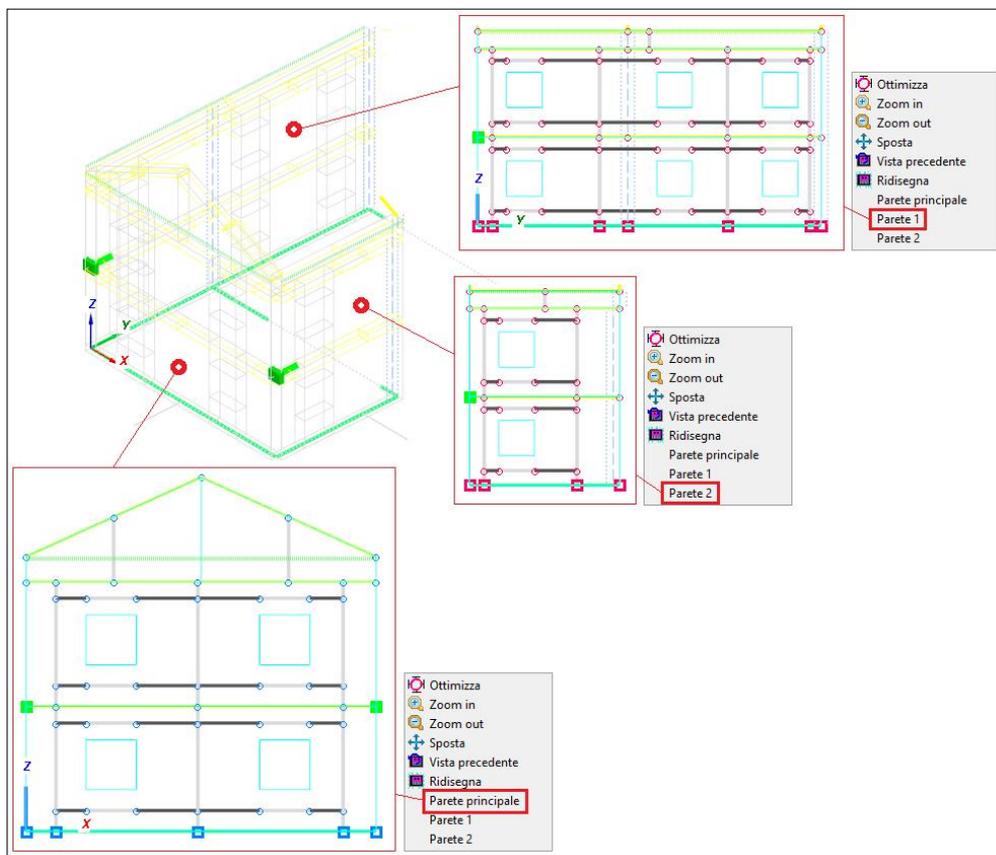
coeff. di proporzionalità l'incognita  $\lambda$  della verifica

Questi carichi verranno generati in automatico una volta individuati i solidi di rottura, sulla base delle informazioni desunte dall'ambiente grafico, e potranno essere integrati in questo ambiente con ulteriori carichi o con rinforzi.

L'ambiente di lavoro del modulo per la verifica dei cinematici di collasso si presenta costituito di due viste della struttura (A-B) e di un pannello dati (C). La vista assonometrica (A) rappresenta gli ingombri solidi della parte di struttura oggetto di verifica, ed ha più che altro un compito puramente esplicativo. L'altra vista è una vista piana (B), che coincide con il piano medio di una parete, ed è la vista di lavoro, nella quale viene ritagliato il contorno del solido di rottura. Gli interpiani selezionati potrebbero non essere complanari e quindi appartenenti ad una, due o al più tre pareti : il programma interpreta una di esse come **parete principale** ( quella più "centrale" ): il menù del tasto destro del mouse consente di passare dall'una all'altra parete. N.B.: L'asse **Y** verde è sempre diretto verso l'interno della struttura.



Quando il pannello dati è in modalità "Dati generali", il tasto "**Nuovo contorno di rottura**" chiede dapprima una descrizione del solido ( che servirà poi ad individuarlo in relazione di calcolo ) e successivamente di ritagliarne il contorno nella finestra. I contorni devono essere creati nella finestra piana (B) e devono rappresentare un poligono chiuso. Nel caso di creazione di contorno intersecante più pareti non complanari (ad es. ribaltamento composto, distacco di cantonale, ecc.) occorre lavorare su più piani passando dall'uno all'altro tramite il click destro del mouse per creare una poligonale tridimensionale rappresentante il possibile cinematico.



Cliccando col tasto destro su un contorno nell'elenco **"MECCANISMI DI COLLASSO"** (D), la voce di menù **"Nuova verifica"** consente di richiedere una verifica da effettuarsi sul solido così definito. Se la geometria degli interpiani selezionati lo consente, il programma propone già in automatico dei contorni di rottura sulla parete principale, utilizzabili o cancellabili a cura dell'utente.

Il programma richiede inoltre all'utente di individuare un caso di carico, detto **CASO DEI CARICHI STATICI** (E), che utilizzerà per generare le azioni applicate al solido di verifica. I corpi rigidi saranno quindi soggetti ai carichi ad essi applicati nell'ambiente grafico nelle condizioni che compongono il caso dei carichi statici, con i rispettivi coefficienti con i quali le condizioni entrano a comporre il caso. Inoltre, il contorno intercetterà altri elementi strutturali e con essi le loro azioni sul solido di rottura, ricavate dalle loro sollecitazioni nel caso statico.

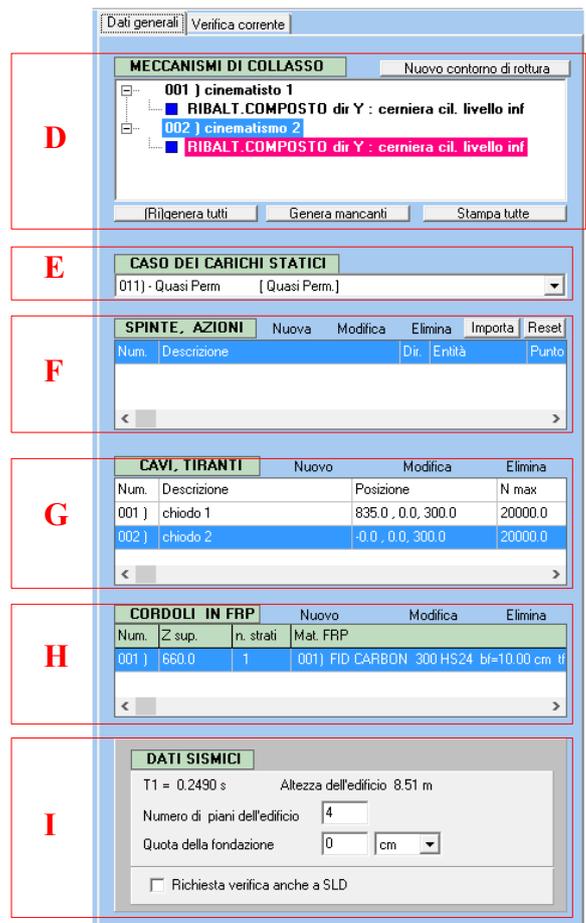
Alle informazioni generate in automatico l'utente potrà aggiungere delle **"SPINTE od AZIONI"** (F), vale a dire delle forze definite direttamente tramite intensità, direzione, verso e punto di applicazione, oppure importate in quanto reazioni vincolari di altri lavori: caso tipico potrebbe essere ad es. quello delle spinte generate da una volta schematizzata tramite elementi guscio in altro lavoro.

Altri elementi che influenzano pesantemente questo tipo di verifiche, sono eventuali **"CAVI o TIRANTI"** e i **"CORDOLI in FRP"** (G-H): questi ultimi, nel caso di cerchiatura completa con adeguata sovrapposizione [ CNR DT 200 R1 / 2013 ], possono intervenire sino al limite della loro tensione di rottura, ben maggiore del limite della tensione di delaminazione, ovvero del limite correlato al distacco dal supporto.

Nella parte inferiore (I) della pagina dei **"Dati generali"** sono riportati i valori necessari a calcolare la domanda sismica: questi valori vengono semplicemente letti dai dati sismici della struttura globale, tranne il numero di piani, che il programma cerca di stimare sulla base delle geometrie, ma rimane comunque un dato modificabile dall'utente.

Se nel campo **"MECCANISMI DI COLLASSO"** è stata evidenziata una delle verifiche, questa diventa la **verifica corrente**, e diventa possibile cambiare pagina nel pannello dati e passare a quella della **"Verifica corrente"**.

A seconda della pagina attiva nel pannello dati cambiano le informazioni presentate dalle viste strutturali: quando si sta lavorando sulla singola verifica corrente, le viste del solido mostrano anche l'asse o gli assi di rotazione del cinematismo, e le azioni agenti sul corpo rigido oggetto di verifica. Buona parte di queste azioni è desunta dall'ambiente di analisi sollecitazioni, come carichi agenti sul solido nelle condizioni che concorrono a formare il caso dei carichi statici, o come azioni dal resto della struttura nella zona di frattura, ovvero sul confine del solido. Le azioni, sia nelle viste grafiche che nella tabella numerica, sono colorate con colori diversi a seconda che siano a favore (verde) o a sfavore (rosso) di stabilità, o in color seppia quelle che non hanno influenza sulla verifica.

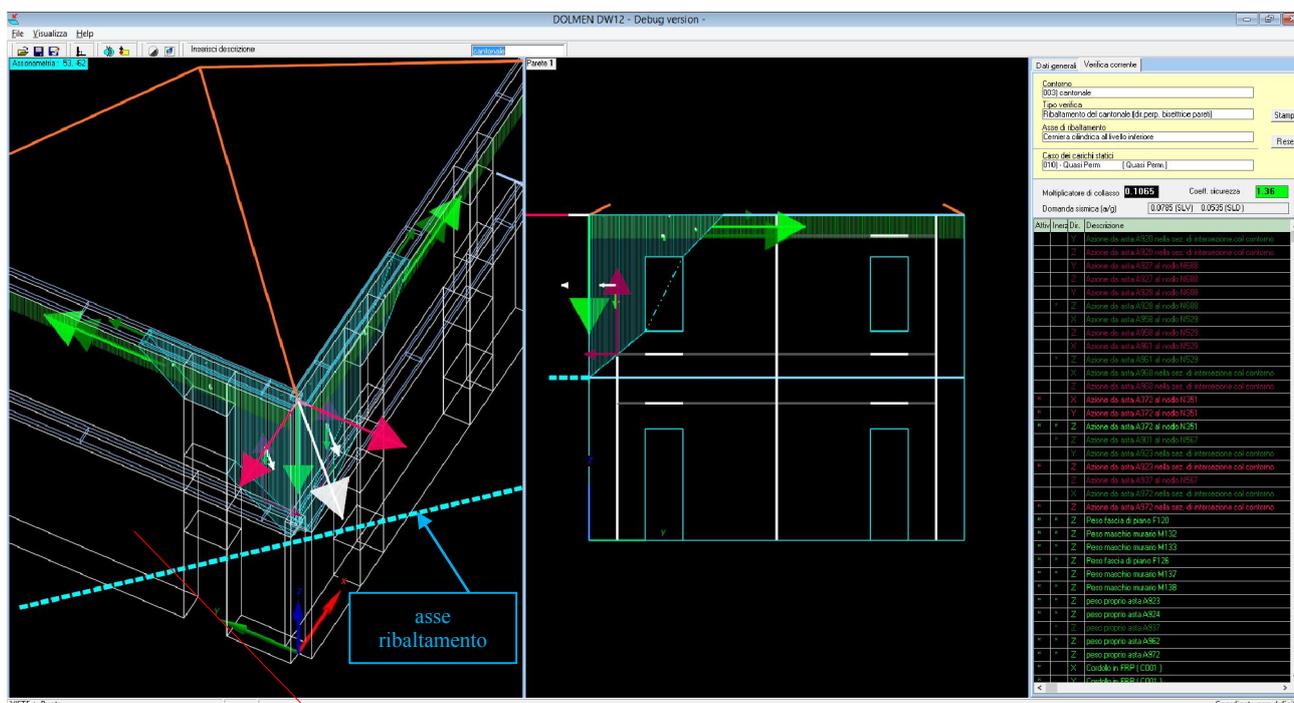


Ovviamente il programma propone delle azioni, che l'utente potrà a suo piacimento attivare o disattivare, a seconda del significato che ad esse attribuisce. ad es. il programma propone come **attive**, cioè da utilizzarsi nei calcoli di verifica, le azioni provenienti dalle aste sovrastanti il solido di rottura, perché immagina che riassumano l'azione dei carichi sovrastanti, mentre propone come **disattive** ad es. le azioni di aste interpretabili come cordoli intercettate dal contorno, poiché immagina che la frattura non consenta la trasmissione di queste azioni. Le azioni segnalate come disattive non verranno citate nella relazione di calcolo. Il menù che consente di attivare/disattivare/evidenziare le singole azioni viene attivato dal tasto destro del mouse sulla tabella numerica dei contributi.

Nel generare le azioni, quelle dirette secondo la direzione  $Z_{\text{globale}}$  negativa vengono interpretate come **inerziali**, cioè da utilizzarsi ( se attive ) nella generazione del sistema di forze orizzontali dovute al sisma : nelle viste strutturali e nella tabella numerica le forze d'inerzia, definite a meno di un moltiplicatore, sono rappresentate in bianco. E' comunque possibile disattivare, mediante il tasto destro del mouse, il fatto che un'azione sia da considerarsi inerziale.

Dal momento che i possibili meccanismi di collasso sono strettamente collegati alle caratteristiche di realizzazione dell'edificio analizzato, alle reali condizioni di vincolo della parete o delle pareti interessate dal meccanismo, all'esistenza di eventuali carenze costruttive, ed ipotizzati anche sulla base di eventuali quadri fessurativi, la tabella delle azioni proposte dal programma potrebbe molto probabilmente richiedere modifiche o integrazioni da parte dell'utente. Le tabelle, una volta costruite e modificate, possono quindi essere salvate, insieme ai meccanismi di collasso e ai contorni definiti, tramite i comandi "**File** → **Salva progetto**" ( che salva il progetto col nome di default **murcin.mcl** ) e "**File** → **Salva progetto con nome . . .**" : il programma stesso può essere lanciato direttamente dal menù generale di DOLMEN, allo scopo di riaprire un progetto già iniziato.

Il tasto "**(Ri)calcola tutti**" nella pagina "**Dati generali**" del pannello dati e il tasto "**Reset**" nella pagina "**Verifica corrente**" rigenerano tutte le verifiche o solo quella corrente, a partire dalla rilettura del file struttura e delle sollecitazioni e carichi sulla struttura stessa



A seconda della pagina attiva nel pannello dati cambia anche il tipo di stampa della verifica : se la pagina attiva è quella della verifica corrente, la stampa viene interpretata come una stampa di lavoro, e

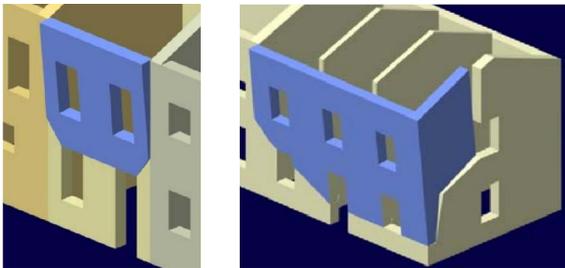
riporta tutte le azioni, attive e disattive, con i loro possibili contributi : nella pagina dei dati generali invece è possibile stampare tutte le verifiche, e le azioni stampate saranno solo quelle attive.

Il moltiplicatore  $\lambda$  delle forze d'inerzia che attiva il meccanismo di collasso dovrà essere confrontato con l'accelerazione dovuta al sisma, ovvero con la domanda sismica : se il moltiplicatore calcolato è negativo, significa che le azioni ribaltanti sono maggiori di quelle stabilizzanti già in assenza di sisma.

Fondamentale è l'individuazione del possibile meccanismo di collasso da verificare, derivante dall'analisi delle possibili sconnessioni, dalla disposizione dei carichi agenti, e in generale dal riconoscimento di carenze strutturali in seguito ad un rilievo della struttura. DOLMEN riconosce cinque categorie di possibili meccanismi di collasso, ovvero di modelli cinematici per l'analisi

### 6.8.1 RIBALTAMENTO SEMPLICE o COMPOSTO

In assenza di cordoli o catene ai piani, e soprattutto in assenza di collegamento alle pareti ortogonali, o



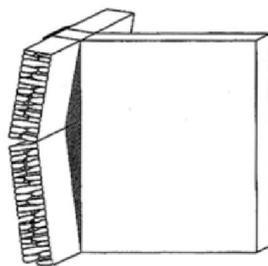
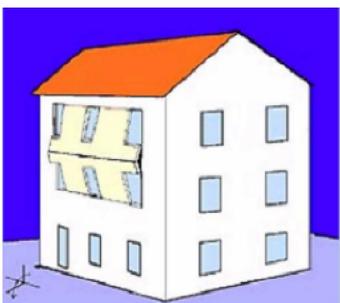
in presenza di lesioni nelle pareti ortogonali, e/o di spinte non contrastate sulla parete, potrebbe attivarsi un meccanismo di ribaltamento, semplice o composto. Il meccanismo consiste di una rotazione rigida di porzioni di parete, o dell'intera parete, attorno ad una cerniera cilindrica orizzontale posta alla base del solido interessato dal cinematismo.

Se al ribaltamento della parete, o di porzione di essa, si accompagna il trascinarsi di parte delle pareti di spina (cioè se il contorno di rottura non giace tutto su uno stesso piano), siamo in presenza di un ribaltamento composto.

In ambedue i casi il PdLV si traduce in una semplice equazione di equilibrio al ribaltamento nella direzione ortogonale alla parete principale, con incognita il coefficiente moltiplicatore delle forze d'inerzia : per DOLMEN vengono unificati nella categoria del ribaltamento composto anche i meccanismi classificati nelle schede *reluis* come ribaltamento composto di cuneo diagonale e a doppia diagonale, dato che la parte di contorno sulle pareti di controvento può avere forma qualsiasi

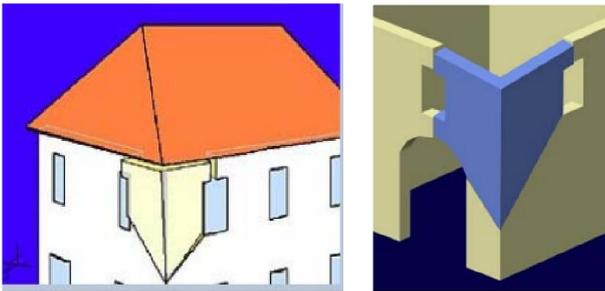
### 6.8.2 FLESSIONE VERTICALE DI PARETE

Questo cinematismo si può manifestare se la tesa muraria risulta trattenuta agli estremi mediante



efficaci vincoli di connessione con gli orizzontamenti, e riceve delle spinte orizzontali localizzate : se il collegamento alle pareti ortogonali è carente, si crea una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi: in questo caso l'utente disegnerà il contorno del solido di rottura, ed assegnerà la quota della cerniera cilindrica di separazione dei due blocchi

### 6.8.3 RIBALTAMENTO DEL CANTONALE



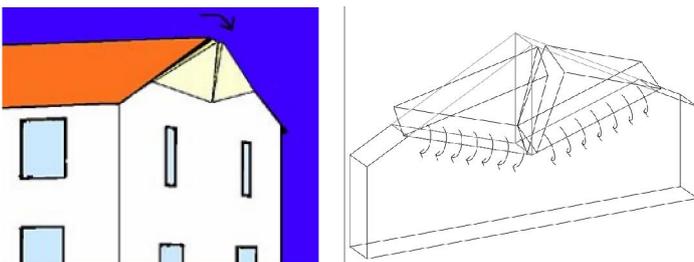
Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di un cuneo di distacco, delimitato da superfici di frattura ad andamento diagonale nelle pareti concorrenti all'angolo, rispetto ad una cerniera posta alla base del solido.

Questo meccanismo è tipico di edifici in cui siano presenti spinte concentrate in testa ai cantonali dovute ai carichi trasmessi da tetti a padiglione.

Si ammette in generale che il ribaltamento possa avere per direzione la componente orizzontale della spinta del puntone : per questo motivo il software propone la scelta fra tre opzioni :

- ribaltamento secondo direzione asta : la direzione del ribaltamento diventa la componente orizzontale della direzione dell'asta
- ribaltamento secondo la bisettrice pareti . in generale i puntone dei tetti a padiglione hanno più o meno questa direzione : questa opzione è pensata per il caso in nel modello FEM non sia presente un'asta alla quale associare la direzione del ribaltamento
- ribaltamento secondo gli assi coordinati : l'opzione è aggiunta per completezza

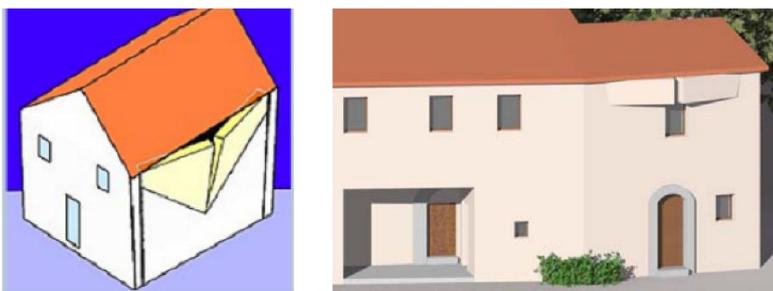
### 6.8.4 RIBALTAMENTO DEL TIMPANO



Questo tipo di cinematismo è in genere provocato dall'azione ciclica di martellamento della trave di colmo della copertura. La presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni diventa in fase sismica causa di spinte elevate, che possono determinare il distacco di elementi cuneiformi : questi macroelementi

tenderanno a ruotare ciascuno attorno ad un asse costituito da una cerniera cilindrica obliqua, scorrendo nel contempo verso l'alto lungo gli assi. DOLMEN suddivide in due elementi il contorno globale di rottura definito dall'utente secondo un asse dal vertice inferiore al vertice superiore del contorno.

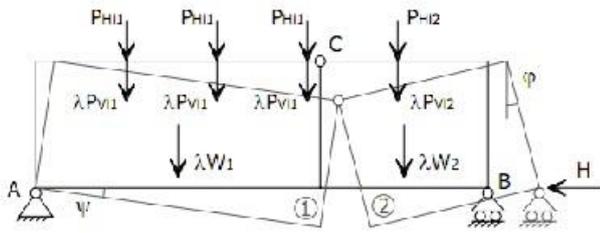
### 6.8.5 FLESSIONE ORIZZONTALE NON EFFICACEMENTE CONFINATA



In generale, il meccanismo di flessione orizzontale si manifesta in pareti vincolate a muri ortogonali, solitamente in presenza di coperture spingenti e mal collegate in sommità,, e si traduce nella formazione di cunei di distacco che ruotano rigidamente intorno a cerniere cilindriche.

Se la parete di facciata non risulta efficacemente confinata nei confronti degli spostamenti nel suo piano ( ad es. perché appartiene ad edifici isolati o d'angolo ) l'allontanamento dei muri di controvento determina un'instabilità che porta ad una rotazione di due macroelementi attorno a cerniere cilindriche pressochè verticali poste agli estremi dei macroelementi.

DOLMEN suddivide in due elementi il contorno globale di rottura, tagliandolo con una retta verticale passante per un'ascissa definita dall'utente.



Lo schema statico del PdLV diventa così (visto dall'alto) uno schema cerniera-carrello, ove il carrello è rappresentativo dell'insufficiente confinamento offerto dai muri di controvento. Per poter valutare la forza limite H rappresentativa della resistenza offerta dalla parete di controvento, il programma chiede quale parete pensare come

carrello, quale lunghezza della parete di controvento ( solitamente un metro ) è chiamata a sopportare la spinta, nonché l'altezza della parete di controvento ( che dipende dalla quota alla quale si pensa vincolata questa parete, cioè la quota a partire dalla quale la parete di controvento potrebbe ribaltarsi )  
 Le tabelle numeriche presentate sono due : la prima è relativa al calcolo della forza limite H ( da equilibrio al ribaltamento della parete di controvento in presenza di sisma ortogonale alla sola parete principale, e quindi senza inerzie ), la seconda è la vera e propria tabella relativa al calcolo del cinematismo. Aprendo il menù di tasto destro su una delle due tabelle, la si rende la tabella corrente : nelle viste vengono rappresentati le azioni e il solido della tabella corrente