

Il modello a macroelementi

Il macroelemento è suscettibile di meccanismi di anelasticità tipici delle pareti murarie, quali la non resistenza a trazione nelle sezioni di estremità in corrispondenza dei nodi ed il danneggiamento e la rottura per taglio.

147

flessionale, ovvero quella connessa alla rotazione rigida del pannello murario, e quella tagliante, nonché i relativi meccanismi di danno, sono disaccoppiati e risultano funzione delle sole componenti di spostamento w e φ di ciascun nodo, nonché delle due componenti di spostamento interne.

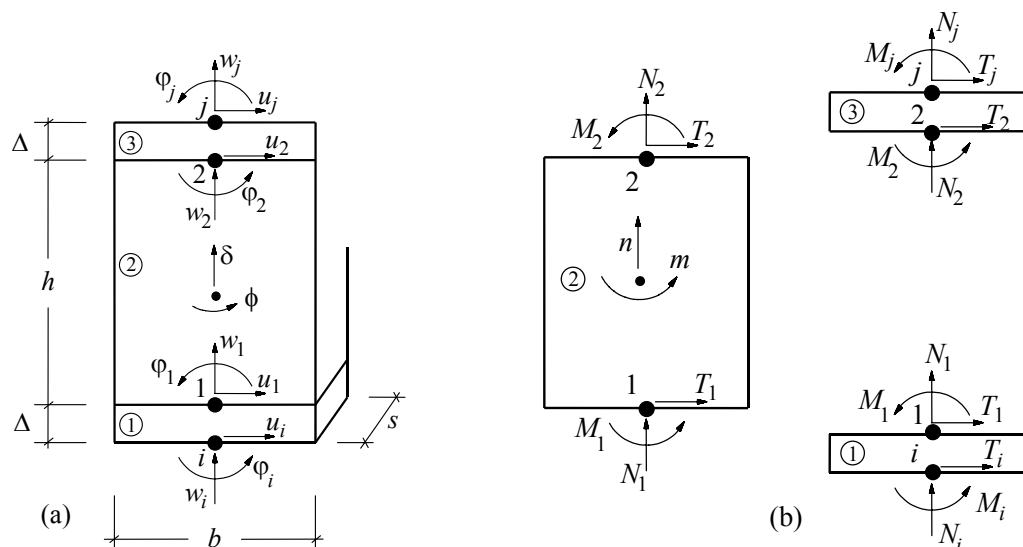


Fig. B.2 - a) Modello cinematico del macroelemento; b) statica dei singoli moduli del macroelemento.

L'equilibrio del macroelemento viene imposto introducendo componenti di sollecitazione duali; il vettore delle caratteristiche di sollecitazione assume pertanto forma analoga a quello delle componenti di spostamento: $\mathbf{q} = \{n_i \ t_i \ m_i \ n_j \ t_j \ m_j \ n \ m\}^t$, Fig. B.2b. Le equazioni costitutive del macroelemento risultano espresse assumendo:

1. una risposta elastica monolaterale nelle sezioni di estremità del pannello;
2. una risposta a taglio degradante della parete.

Nel primo caso si pone:

$$n_i = kA(\delta - w_i) + n_i^*, \quad m_i = kAb^2(\varphi_i - \phi) + m_i^* \quad (\text{B.1a,b})$$

dove $A = sb$ corrisponde alla sezione trasversale del pannello. I contributi anelastici n_i^* e m_i^* sono ottenuti dalla condizione di contatto monolatero perfettamente elastico:

$$n_i^* = \frac{-ks}{8|\varphi_i - \phi|} \left[|\varphi_i - \phi|b + 2(\delta - w_i) \right]^2 H\left(|e_i| - \frac{1}{6}b\right), \quad (\text{B.2a})$$

$$m_i^* = -\frac{ks}{24(\varphi_i - \phi)|\varphi_i - \phi|} \left[(\varphi_i - \phi)b - (\delta - w_i) \right] \left[|\varphi_i - \phi|b + 2(\delta - w_i) \right]^2 H\left(|e_i| - \frac{1}{6}b\right), \quad (\text{B.2b})$$

dove $H(\bullet)$ è la funzione di Heaviside.

La risposta a taglio del pannello è modellata supponendo che la distribuzione delle deformazioni a taglio $\gamma = (u_i - u_j)/h + \phi$ sia uniforme nella porzione centrale del pannello ②. In questo caso, le equazioni costitutive sono date dalla somma dei contributi elastici lineari t_i e da un contributo anelastico t_i^* :

$$t_i = \frac{GA}{h} (u_i - u_j + \phi h) + t_i^*, \quad t_i^* = -\frac{GA}{h} \frac{Gc\alpha}{1 + Gc\alpha} \left(u_i - u_j + \phi h + \frac{h}{GA} f \right). \quad (\text{B.3a,b})$$

La componente anelastica dipende dalla forza di attrito f , che viene assunta essere sempre in opposizione ai meccanismi di scorrimento e dalla variabile di danno α , crescente all'aumentare della deformazione angolare γ . Anche in questo modello l'evoluzione delle variabili interne f e α è determinata in forma incrementale in funzione di due condizioni limite per attrito e per evoluzione del danno:

$$\phi_s = |f| - \mu n \leq 0, \quad \dot{\gamma}^* = \left(\frac{f}{|f|} \right) \dot{\lambda}, \quad \phi_d = Y(s) - \mathcal{R}(\alpha) \leq 0 \quad (\text{B.4a,b,c})$$

dove: μ è il coefficiente di attrito, $\dot{\gamma}^*$ è l'incremento della deformazione anelastica e $\dot{\lambda}$ è il moltiplicatore plastico, $Y = \frac{1}{2} c(t-f)^2$ rappresenta l'energia rilasciata per l'incremento di danno, $\mathcal{R}$ è la funzione di tenacità e $\mathbf{s} = \{t, n, m\}^t$ rappresenta il vettore delle forze interne.

Infine le grandezze statiche duali delle variabili interne sono determinate imponendo l'equilibrio della parte centrale ②:

$$n = -n_i - n_j, \quad m = -m_i - m_j. \quad (\text{B.5a,b})$$

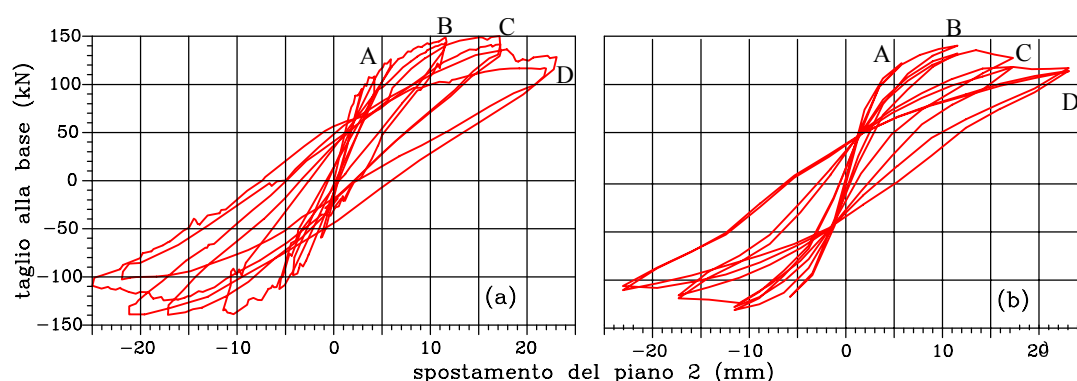


Fig. B.3 - Diagramma carico-spostamento: a) risultati sperimentali, b) modello a macroelementi.

Il macroelemento formulato sulla base del modello costitutivo discusso alle pagine precedenti è stato implementato in una procedura di analisi non lineare di tipo incrementale-iterativa. La procedura è stata applicata a diverse tipologie di pareti; si riportano di seguito alcuni esempi relativi alla parete illustrata in Fig. B.1. La simulazione con il modello a macroelementi di Fig. B.3b mostra la capacità del modello a macroelementi di cogliere adeguatamente le caratteristiche principali della risposta della parete evidenziate nella sperimentazione, riproducendo i meccanismi di collasso nella sequenza e nell'entità di danneggiamento evidenziati dalle prove sperimentali (Fig. B.4).

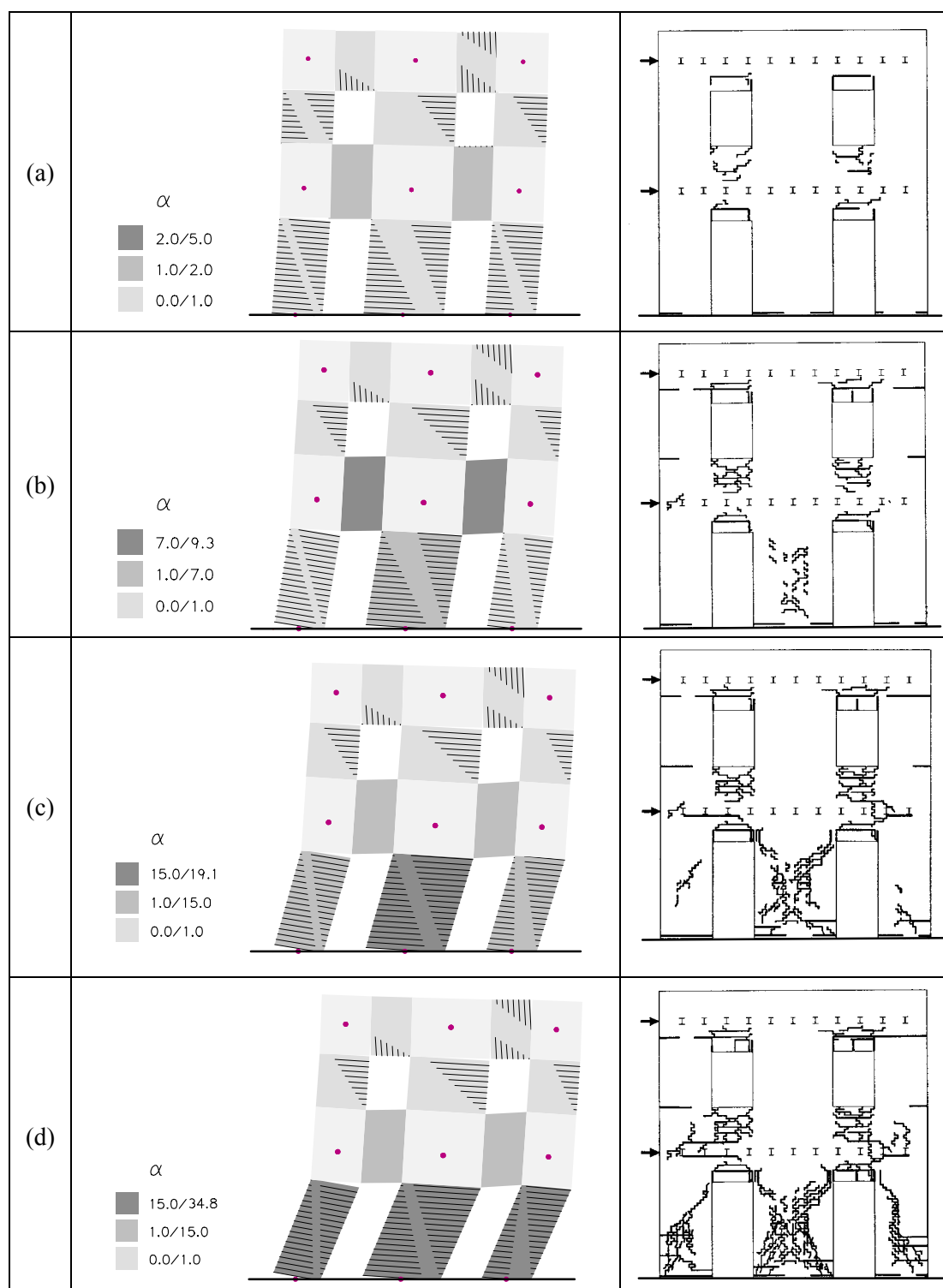


Fig. B.4 - Evoluzione del danneggiamento e del ribaltamento nelle fasi A, B, C e D di Fig. B.1: risposta del modello a macroelementi e risultati sperimentali.