

Per meglio visualizzare come si muovono i punti materiali all'interno della piastra riportata in Figura è possibile creare un "reticolo di stecchini" rigidi (rossi): in questo modo si crea un vincolo cinematico che lega il moto di un generico nodo al moto della corrispondente particella materiale della piastra, in modo che tale nodo si sposti secondo le funzioni di interpolazione dei modi dei 4 nodi.

Con *MSC MarcMentat* è possibile compiere questa operazione selezionando `LINK`  $\implies$  `INSERTS`: per creare un inserto sarà sufficiente selezionare i nodi (i cui gradi di libertà verranno resi dipendenti) che verranno inclusi nell'inserto come *entità embedded*, ovvero entità ospiti all'interno del macro elemento piastra (elemento ospitante).

Per ognuno dei 21 nodi della piastra sopra raffigurata il *Mentat* dovrà provvedere a:

1. cercare l'elemento che contiene il generico nodo P;
2. determinare le coordinate  $\xi$  ed  $\eta$  di P all'interno del macro elemento piastra; per fare ciò occorre una *mappatura inversa* che consenta il passaggio da sistema di riferimento fisico a isoparametrico.

Detto  $e_3$  l'elemento piastra delimitato dai nodi  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  ed  $n_4$  e contenente P, una volta che il *Mentat* ha individuato le coordinate di P, per mezzo del link "*INSERTS*" è possibile creare dei vincoli sui gradi di libertà di tale punto. Per quanto riguarda lo spostamento

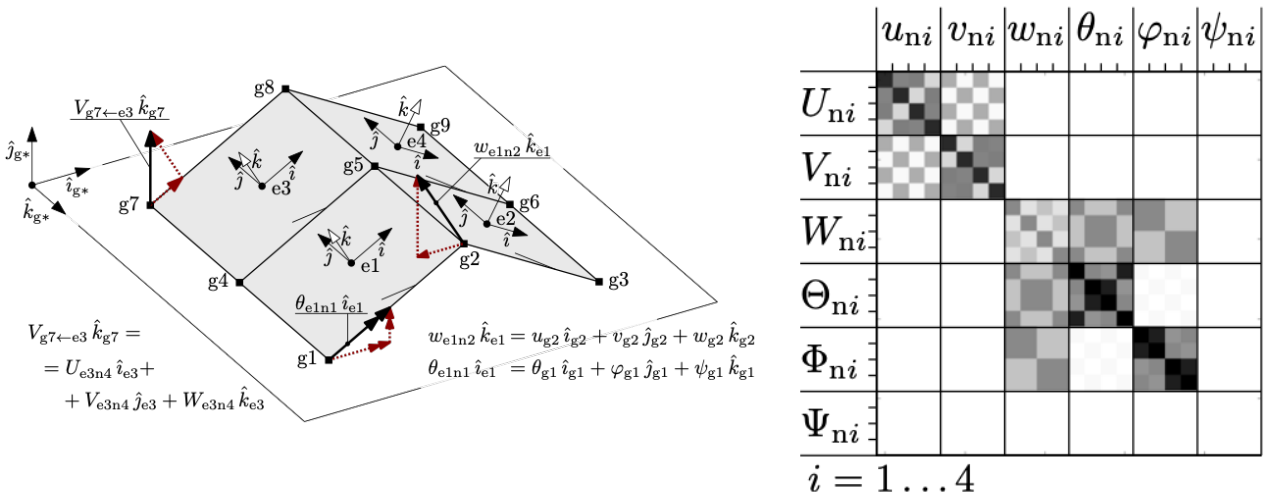
$u_P$  in direzione  $x$ , questo sarà esprimibile come

$$u_P = u_{e3n1}N_1(\xi, \eta) + u_{e3n2}N_2(\xi, \eta) \quad (1)$$

in cui  $u_{e3nj}$  indica lo spostamento in direzione  $x$  del nodo  $j$ -esimo dell'elemento  $e_3$ ; la (1) deve estendersi anche per gli spostamenti  $v_P$  e  $w_P$  di P rispettivamente lungo le direzioni  $y$  e  $z$  e per le rotazioni  $\theta_P$ ,  $\varphi$  e  $\psi$  intorno a questi ultimi in modo da ottenere 6 equazioni di vincolo.

Tuttavia il nostro interesse non si limita al solo piano di riferimento della piastra, ma si estende anche al materiale compreso tra la superficie di riferimento e le superfici *top* e *bottom*. Per studiare questo aspetto tornano utili gli "stecchini" rigidi precedentemente introdotti: per monitorare il moto del materiale compreso tra 2 nodi appartenenti a un medesimo "stecchino" è possibile, infatti, creare dei "fazzoletti" di materiale infinitamente sottile grazie ai quali è possibile imporre 4 spostamenti all'elemento  $e_3$  (uno spostamento per ognuno dei 4 nodi) *con valore mediamente nullo*, ad eccezione della rotazione  $\varphi$  del nodo 2 (che in questo caso viene assunta unitaria). In pratica, se si considera anche il "drilling", ciò equivale a considerare unicamente la 18<sup>a</sup> colonna della matrice  $\underline{\underline{S}}(\xi, \eta, z)$

$$\underline{\underline{S}}(\xi, \eta, z) = \begin{bmatrix} \dots & \tilde{u}_{18} & \dots \\ \dots & \tilde{v}_{18} & \dots \\ \dots & \tilde{w}_{18} & \dots \end{bmatrix}, \quad \tilde{v}_{18} \simeq 0, \quad \tilde{w}_{18} \simeq 0 \quad (2)$$



---

In Figura sono riportati una geometria a 4 elementi e 9 nodi e la corrispondente matrice di rigidezza (in cui i gradi di libertà sono raggruppati per tipologia di spostamento). Nella matrice il modulo dei singoli termini è rappresentato in scala di grigi: il colore bianco corrisponde a 0, mentre il nero al valore massimo. Si osserva poi che tale matrice

- è una matrice "a blocchi" di  $4 \times 4$  elementi;
- possiede una simmetria che deriva dalla simmetria della matrice del legame costitutivo.