

APPENDICE E PACKAGE E.S.A.P.: ESEMPI ED APPLICAZIONI.

E.1. Generalità (#).

Nel presente capitolo vengono illustrati alcuni semplici esempi, effettuando delle considerazioni sulla modellazione adottata e sulla individuazione dello schema statico.

Gli esempi scelti rappresentano solo minimamente il campo di applicazione della procedura che, per la sua generalità, consente un ampio spettro di analisi; in particolare, gli schemi presi in esame pongono in risalto le possibilità di calcolo derivanti dall'impiego dei nuovi *elementi finiti* introdotti: l'asta con *conci eccentrici*, l'asta alla *Winkler* con *molle tangenziali*, il *pannello*. Inoltre si è evidenziata la possibilità di calcolo di strutture costituite da *materiali differenti*.

I primi tre esempi si riferiscono a strutture *isolate* (cioè non facenti parte di edifici): nel tabulato pertanto non compare alcuna indicazione relativa alla *giacitura del controvento*.

Nell'ultimo esempio invece si analizza una sottostruttura facente parte di un edificio ad impalcato rigido: viene così esaminata un'applicazione dell'operatore *master-slave* d'impalcato, dell'elemento *pannello*, della modellazione di un impalcato rigido *spingente* e della incidenza del controvento su impalcati non numerati consecutivamente (*sfalsati*).

E.2. Esempio 1a: Portale reticolare (modello a nodi parzialmente solidali).

In questo esempio viene esaminato il caso di un portale costituito da un traverso reticolare collegato alle colonne (monolitiche) attraverso connessioni a cerniera.

Il traverso presenta una *monta* sia all'intradosso che all'estradosso; sotto il profilo esecutivo, la travatura reticolare verrà realizzata con profili formati a caldo (**UPN** ed **L**) *accoppiati* con *imbottiture*. I traversi inferiori e superiori pertanto saranno *monolitici*, cioè senza interruzioni in corrispondenza dei *fazzoletti*, salvo in *mezzzeria* (a causa della variazione di pendenza). Pertanto lungo i correnti le aste saranno caratterizzate da un regime *flessotagliante* che si somma a quello *assiale*; viceversa i montanti ed i diagonali, collegati ai nodi estremi con fazzoletti, avranno un comportamento esclusivamente *estensionale*.

Analogamente, la colonna non s'interrompe all'attacco col corrente inferiore, conservando quindi la propria integrità flessionale.

In sostanza si tratta di una struttura a nodi *parzialmente solidali* in quanto, in corrispondenza dei nodi, alcune aste conservano la propria *solidarietà* (come per la colonna all'attacco col corrente inferiore, oppure per i correnti superiori ed inferiori), mentre altre *sono non solidali* (come i diagonali ed i montanti); pertanto il *concetto di solidarietà* corrisponde alla circostanza che l'asta, nella estremità considerata, *condivide* la rotazione del nodo nel quale essa concorre: schematicamente ciò viene rappresentato col simbolo d'*incastro interno*, mentre la *non solidarietà* viene espressa con la *sconnessione (cerniera)*.

In dettaglio esaminiamo quanto accade in alcuni nodi (vedi figura su tabulato):

- Nodi **totalmente non solidali**, (es. 3/simm., 12 e 13), ai quali **tutte le aste concorrenti** non trasmettono sollecitazioni flessionali, ciascuna ruotando diversamente; pertanto la rotazione in tali nodi non è definita (per tale grandezza nel tabulato appare *convenzionalmente* il valore nullo). In tali nodi possono concorrere *soltanto* aste che, nell'estremità corrispondente, sono caratterizzate da sconnessioni *interne* (codici 5/6, come per *diagonali* e *montanti*, 11/12 o 13/14 come visto per le aste di *corrente*). Il corrispondente *codice di vincolo interno* (parte *intera* del codice) è ovviamente **-1**, trattandosi di *sconnessione a cerniera*. Il nodo non è vincolato esternamente, pertanto la parte frazionaria del codice è **000**, e quindi il codice completo è **-1.000**.

- Nodi **parzialmente solidali**, (es. tutti gli altri nodi, tranne 1/simm.), ai quali concorrono alcune aste che trasmettono effetti flessionali (e che condividono la rotazione del nodo, essendo ad esso *solidali*) ed altre

che sono sconnesse flessionalmente (e che ruotano liberamente). Il *codice di vincolo interno* è +1 ed il valore della rotazione indicato per il nodo è riferito ovviamente alle sole aste *solidali*, cioè non caratterizzate da *sconnessioni* alla corrispondente estremità (con *codice di elemento* 5/6,11/12,13/14). Si ricorda che nel caso in cui il nodo sia **libero** il codice di vincolo è *convenzionalmente* **0.000**.

Nella figura (esempio 1a) viene evidenziato quanto espresso, rappresentando in forma *esplosa* la modellazione adottata nella scelta del singolo *elemento* (individuando i vincoli *interni* di estremità) ed il corrispondente *codice*, nonché le *sconnessioni a cerniera* che interrompono completamente la continuità del nodo.

E.2.1. Esempio 1b: Portale reticolare: (simmetria strutturale).

Viene esaminato lo stesso schema statico descritto nel precedente paragrafo, tenendo però conto della *simmetria* geometrica e di carico. Vale quanto già ampiamente espresso con riferimento alla modellazione adottata; per quanto attiene la condizione di vincolo esprimente la *simmetria*, basta fare riferimento al reale comportamento *cinematico* dei nodi di *frontiera* 12 e 13: essi sono liberi di traslare verticalmente (secondo y) e di ruotare, mentre è impedito lo spostamento orizzontale (la parte *frazionaria* del codice è **100**). In tali nodi concorrono *esclusivamente* aste *non solidali*, pertanto il vincolo (inteso come *interno*) è una *sconnessione completa* (parte *intera del codice* -1.); il *codice di vincolo* è pertanto **-1.100**.

L'asta 12-13 (vedi tabulato), posta sulla *frontiera* (in comune fra le due sottostrutture *simmetriche*), è ovviamente caratterizzata da caratteristiche geometriche (Inerzia ed Area) *dimezzate*.

Dal confronto fra i tabulati relativi agli esempi 1a e 2a si rileva perfetta coincidenza tanto delle caratteristiche cinematiche che della sollecitazione.

Sotto il profilo applicativo, è appena il caso di porre in evidenza il regime flessotagliante cui è sottoposta la colonna: considerare in modo indipendente travatura e colonne (come è prassi consolidata) non consente di cogliere in modo completo il reale comportamento della struttura nel suo complesso.

L'ipotesi di solidarietà delle aste di corrente inoltre consente di valutare in modo più appropriato il regime di spostamenti (e quindi anche la *freccia* massima) cui è sottoposta la travatura; come è noto, spesso la *verifica di deformabilità* degli elementi orizzontali risulta fortemente condizionante ai fini del dimensionamento dell'opera. Ovviamente, sotto questa ipotesi, le aste compresse, interessate da regime flessotagliante, dovranno essere verificate a *carico di punta* con pressoflessione.

E.3. Esempio 2a: Tombino scatolare (#).

In questo esempio si analizza una tipica struttura da ponte tenendo conto dell'*interazione* fra *suolo e struttura*.

Fra i carichi agenti sul trasverso, si è descritto un incremento locale nella mezzeria del carico *normale*, ottenuto inserendo un nodo in corrispondenza di ciascuna discontinuità del *qn*.

Per quanto attiene la *modellazione* del terreno, si è tenuto conto, oltre al *comportamento normale* alla *Winkler*, anche di quello *tangenziale*: le molle distribuite sull'asta, oltre ad opporsi *elasticamente* a spostamenti *normali* all'asse, reagiscono anche per spostamenti paralleli a tale asse, determinandosi così delle *tensioni tangenziali* fra terreno e fondazione.

Come si ricorderà, nel package "**S.A.P. 2.0**", dovendosi analizzare strutture analoghe, occorreva introdurre un vincolo alla traslazione normale all'asta alla *Winkler*. La nuova *modellazione* (che si affianca a quella già adottata), consente di tener conto dell'effetto d'interazione col terreno anche di natura *tangenziale*. Osservando infatti i risultati relativi al trasverso di fondazione si rileva che i tronchi a *sbalzo* sono tesi mentre la campata intermedia è compressa e le tensioni tangenziali sono sempre di segno opposto al carico agente sui ritzi.

E.3.1. Esempio 2b: Tombino scatolare (ipotesi di simmetria).

Viene ripreso l'esempio precedentemente esposto, considerando la simmetria strutturale e di carico:

anche in questo caso basta fare riferimento alle condizioni cinematiche da imporre ai nodi di *frontiera*. I nodi nella sezione di *simmetria* non possono subire spostamenti orizzontali nè rotazioni ($s_x=rot_z=0$), mentre sono possibili spostamenti verticali ($s_y \neq 0$); le aste concorrenti nel nodo ne condividono la rotazione (non sono *sconnesse*) e quindi *internamente* il nodo è di tipo *solidale*: il codice di vincolo corrispondente è ovviamente **+1.101**.

Dal confronto fra i tabulati relativi agli esempi 2a e 2b, si rileva la piena coincidenza fra i risultati ottenuti.

E.4. Esempio 3a: portale in acciaio su pali.(#)

Nell'esempio proposto viene ancora ripreso il tema dell'interazione fra suolo e struttura, ma con riferimento ad una fondazione indiretta e non superficiale, come analizzato precedentemente.

Come evidenziato nella sezione schematica (vedi esempio 3), la struttura è costituita da un portale in acciaio poggiante su pali in calcestruzzo armato da $D=500$ mm; i pali sono *sospesi*, cioè non attestati su un substrato rigido. Lo schema viene esaminato nell'ipotesi di comportamento a nodi solidali.

Mancando il collegamento fra le teste dei pali, si vuole analizzare il regime di sollecitazioni che nasce nella struttura, per effetto dei carichi verticali, tenendo conto della mutua interazione fra fondazione e sovrastruttura.

La *modellazione del terreno* è stata effettuata ipotizzando una linearità fra i *coefficienti di rigidità (orizzontali e tangenziali)* e la profondità della sezione rispetto al piano campagna, formulazione valida nei terreni a grana medio grossa.

Pertanto si è tenuto conto tanto del *comportamento alla Winkler normale* che di quello *tangenziale*: le dimensioni *d'impronta* sono rispettivamente $in = D$ (diametro del palo) e $it = P$ (perimetro del palo, cioè la superficie, a metro lineare, sulla quale si esercitano le tensioni tangenziali di contatto col terreno).

Per tenere conto della diversità fra i due materiali si è fatto uso del *codice di materiale*, semplicemente attribuendo alle singole aste il relativo codice.

Dall'analisi della deformata si evidenzia la mutua interazione che viene a determinarsi fra pali e portale.

Assume particolare interesse l'analisi dei risultati relativi all'andamento degli sforzi normali e delle tensioni tangenziali di contatto col terreno lungo il fusto dei pali: tali caratteristiche decrescono dalla *testa* verso la *punta*, risultando nulle appunto in tale sezione.

E.4.1. Esempio 3b: portale in acciaio su pali (ipotesi di simmetria).

L'esempio precedentemente proposto viene ripreso tenendo conto della *simmetria strutturale*.

Anche in questo caso si sono analizzate le condizioni cinematiche dei nodi di *frontiera*: il codice di vincolo del nodo 14 è **+1.101**. Dal confronto dei due tabulati si riscontra la piena coincidenza dei risultati.

E.4.2. Esempio 3c: portale in acciaio su pali incernierato al piede (ipotesi di simmetria).

Viene esaminato anche il caso in cui la colonna sia incernierata al palo (esempio 3c). L'asta alla Winkler è solidale in entrambe le estremità e ciò potrebbe far ritenere che lo schema proposto non sia analizzabile. In tal caso basta adottare, per la colonna, un'asta di codice 13 (/14). Nel nodo 11 pertanto convergeranno due aste: una *solidale* (asta alla Winkler) e l'altra *non solidale* (codice 13/14); non essendo **tutte le aste convergenti non solidali**, non occorrerà introdurre la sconnessione a cerniera interna.

Il tabulato viene omesso in quanto non significativo.

E.5. Esempio 4: telaio con tetto e scala su parete.(#)

L'esempio proposto si riferisce ad un telaio facente parte di una struttura spaziale ad impalcato rigido (infatti nel tabulato appare l'informazione relativa alla *giacitura in pianta del controvento*), *incidente* sugli impalcati 1, 3 e 4 (*non collegato* all'impalcato 2), trattandosi quindi di una *struttura ad impalcati sfalsati (non consecutivi)*. Viene esaminato l'uso dell'*operatore master-slave d'impalcato* (per gli impalcati orizzontali), il caso di un *tetto spingente* (nel quale cioè la condizione d'infinita rigidità del diaframma non si traduce nella ipotesi di spostamento di piano costante per tutti i nodi su esso giacenti) e l'impiego dell'elemento *pannello*.

A favore di una maggiore leggibilità del tabulato si è altresì fatto uso del *codice di pilastro e d'impalcato*, in modo da descrivere la corrispondenza fra un generico nodo, il ritto di appartenenza e l'impalcato di giacitura.

La struttura viene *modellata* in due differenti modi: utilizzando per la descrizione della parete sia l'*elemento pannello*, che le *aste con conci eccentrici*.

Sono stati svolti tanto il *calcolo* (per le quattro condizioni *base* di carico, ottenendo sette distinte condizioni *combinata*), tanto l'*analisi della deformabilità*; per questo ultimo tipo di elaborazione si è ottenuta nei due casi ovviamente la stessa matrice di comportamento, anche se con diversità dei parametri cinematici (rotazioni) di taluni nodi, causate dalla diversità di *modellazione*.

E.5.1. Esempio 4: descrizione dell'impalcato.

Come premesso, il telaio è caratterizzato da *impalcati a giacitura orizzontale ed a falda* (soggetti ad effetti *spingenti*); nel seguito viene descritta la *modellazione* adottata in entrambi i casi.

Per quanto attiene il caso dell'**impalcato orizzontale**, l'ipotesi di infinita rigidità del diaframma si traduce nella costanza dello spostamento orizzontale (s_x) dei nodi su esso incidenti; pertanto, scelto un nodo come *master*, basta indicare i restanti nodi di *piano* come *slave*, attribuendo loro, come *codice master*, il *numero d'impalcato* al quale sono collegati. Stesso risultato si sarebbe ottenuto adottando il *codice master di nodo*: in tal caso sarebbe bastato, per ciascun nodo, attribuire come *codice master* il numero (**con segno negativo**) corrispondente al nodo scelto come *caratteristico (master) d'impalcato*. In entrambi i casi i nodi *slave* condividono lo *stesso spostamento orizzontale* (s_x) del nodo *master*.

Viceversa, nel caso d'**impalcato a falda**, non può adottarsi la *modellazione* precedentemente descritta, in quanto ovviamente i nodi giacenti sulla falda, a causa degli effetti spingenti, non condividono gli stessi spostamenti orizzontali.

In tal caso, scelto come precedentemente il nodo *caratteristico (master) d'impalcato*, si attribuirà ai nodi di piano lo stesso *codice d'impalcato* (che serve principalmente per descrizione), si porrà per essi come *codice master* il valore **0**, (corrispondente ai nodi *liberi*) e si adotterà la *simulazione della indeformabilità assiale* (amplificando fittiziamente l'area delle aste giacenti con **entrambi gli estremi** sullo stesso impalcato). In tal modo si descrive una *fittizia* indeformabilità della *falda* che non limita gli spostamenti orizzontali dei nodi su essa incidenti.

L'adozione dell'operatore *master-slave* porterebbe ad inibire il regime di spostamenti orizzontali (come una sorta di *tirante* al livello d'impalcato), falsando così il reale comportamento *spingente* della struttura.

Le aste della trave a ginocchio (cui non corrisponde alcun impalcato), risultando i codici d'impalcato nulli (nodi 8 e 9) oppure differenti (nodi 9 ed 11), non subiscono alcuna amplificazione assiale (vedi tabulato relativo alla *modellazione a pannello*).

E.5.2. Esempio 4a: telaio su parete (modellazione a pannello).

In questo esempio si analizza la *modellazione "a pannello"*, che viene ottenuta semplicemente descrivendo la parete con un *elemento bidimensionale*. Il *pannello* è un elemento di *lastra* rettangolare incidente in modo **non solidale** sui quattro nodi di spigolo: per tale motivo alla base della parete si è adottato il vincolo con codice **-1.110**.

Sempre a causa della *non solidarietà* flessionale con i nodi estremi, sorge la necessità di descrivere un *lembo* rigido sul quale *incastrare* (internamente) i sovrastanti pilastri; per tale motivo si sono inseriti il nodo intermedio (5) e due aste (4-5 e 5-6) caratterizzate da valori dell'inerzia *I* e dell'area *A* elevate (nel tabulato identificate dal testo *inerzia ed area infinite*).

Si tratta in sostanza di *simulare* la presenza di un *traverso alla Grinter* rigido in testa al pannello.

A tale proposito vale quanto esposto nel manuale in tema di *simulazione di elementi dotati di elevata rigidità*, e cioè che i valori scelti per le caratteristiche geometriche devono essere *compatibili* con le grandezze fisiche in gioco: valori eccessivi porterebbero a effetti di *mal condizionamento* della matrice di rigidità della struttura. Viene altresì ricordato che scegliendo, come nell'esempio, per tali aste un **profilo generico** con $I >= 1E+8 \text{ cm}^4$, vengono omessi i diagrammi del momento e del taglio per tali elementi, in quanto non significativi.

In sostanza il *traverso rigido* è collegato al pannello in modo non solidale, mentre i pilastri sovrastanti sono *ad esso incastrati*, condividendone la rotazione (vedi figura esempio 4a).

I nodi giacenti sugli spigoli del *pannello* devono essere animati dagli stessi spostamenti orizzontali ($s_x = \text{cost}$): nel caso dell'esempio ciò è stato ottenuto semplicemente attribuendo ai nodi 4 e 6 (nonché a tutti quelli giacenti sul traverso) lo stesso *codice master d'impalcato*. Viceversa, nel caso in cui i nodi di *lembo* non fossero appartenuti ad uno stesso impalcato, sarebbe bastato far ricorso all'operatore *master-slave di nodo*, ponendo uno dei due *slave* dell'altro (si ricorda che il codice *slave di nodo* è costituito dal numero del *nodo* scelto come *master* col segno negativo).

E.5.3. Esempio 4b: telaio su parete (modellazione a conci eccentrici).

Lo stesso esempio viene affrontato *modellando* la parete con un'asta deformabile a flessione, taglio e sforzo normale (codice 3); tale elemento monodimensionale non giace sullo stesso allineamento dei pilastri 11, 9 e 5, pertanto sorge la necessità di descrivere il *disassamento* fra tali aste. Ciò può essere semplicemente ottenuto adottando aste a *conci eccentrici*: il *disassamento* fra tali allineamenti rappresenta la lunghezza *orientata* del *concio normale l_{ni}* (vedi fig. esempio 4b).

Analogamente la trave 5-1 (secondo il modello dell'esempio 4a), collegata alla parete, viene descritta come un'asta con *concio rigido* che unisce l'asse della parete col pilastro adiacente (1): in tal caso la lunghezza del *concio rigido* coincide con la distanza fra l'asse ed il lembo del pannello.

Pertanto, fissato il nodo 2 come intersezione fra asse parete e l'impalcato, in esso convergeranno tre aste con *conci eccentrici* (2-5, 2-9 e 2-10) ed un'asta a *conci rigidi* (2-4).

Si ricorda che il modello non prevede l'applicazione di carichi distribuiti sui *conci eccentrici*; pertanto si sono trasformati i carichi su essi agenti in azioni concentrate (F_y e M_z), come rappresentato nella figura (esempio 4b).

Esaminando i tabulati, si rileva la completa coincidenza dei risultati; per quanto concerne la *matrice di comportamento*, essa tiene conto della *non consecutività* degli impalcati collegati.

Da quanto illustrato si rileva che attraverso un uso appropriato della *modellazione a conci eccentrici* si possono risolvere i problemi relativi alle strutture a *pannelli*.

Indice.

E.1. Generalità (#).....	1
E.2. Esempio 1a: Portale reticolare (modello a nodi parzialmente solidali).....	1
E.2.1. Esempio 1b: Portale reticolare: (simmetria strutturale).	2
E.3. Esempio 2a: Tombino scatolare (#).	2
E.3.1. Esempio 2b: Tombino scatolare (ipotesi di simmetria).	2
E.4. Esempio 3a: portale in acciaio su pali.(#).....	3
E.4.1. Esempio 3b: portale in acciaio su pali (ipotesi di simmetria).	3
E.4.2. Esempio 3c: portale in acciaio su pali incernierato al piede (ipotesi di simmetria).	3
E.5. Esempio 4: telaio con tetto e scala su parete.(#).....	4
E.5.1. Esempio 4: descrizione dell'impalcato.	4
E.5.2. Esempio 4a: telaio su parete (modellazione a pannello).	5
E.5.3. Esempio 4b: telaio su parete (modellazione a conci eccentrici).	5