

Appunti per la modellazione dell'edificio in c.a. con il SAP2000 e per il post-processamento dei risultati

Vengono forniti alcuni suggerimenti pratici per utilizzare il SAP2000 per modellare l'edificio in c.a. ed effettuare le verifiche formalmente conformi alla nuova normativa sismica (Ord. 3431 e NTC08).

Alcuni "suggerimenti" sono però indispensabili se si vuole usufruire di una procedura automatica di post-processamento dei risultati del SAP, ai fini delle verifiche finali dei pilastri, illustrata più avanti. Tali indicazioni saranno nel seguito indicate con tre asterischi ***.

Unità di misura (da impostare all'apertura del modello!) kN m ***

Geometria del modello:

L'asse x ed y giacciono nel piano orizzontale, l'asse z verticale verso l'alto. ***

Rinumerazione dei nodi: al piano zero indicare i nodi di base dei ritto con i numeri 1,2,...,99 ***

Al primo piano i nodi corrispondenti 101,102,... ***

Al secondo piano 201,202,... ***

Etc. ***

In questo modo nelle tabelle di output l'asta ad esempio 405-505 sarà subito individuata come il pilastro 5 al quinto ordine, mentre l'asta 302-304 sarà una trave del terzo impalcato tra il pilastro 2 ed il 4.

Nel caso di geometrie ordinarie con travi sempre orizzontali e pilastri verticali, con le posizioni di default del sap per gli assi locali si ha:

per le travi l'asse 2 è parallelo all'asse z; di conseguenza il momento nel piano verticale sarà espresso da M3;

per i pilastri l'asse 2 sarà parallelo all'asse x; di conseguenza il momento Mx (nel piano yz) sarà espresso da M2 ed il momento My (nel piano xz) sarà espresso da M3.

Materiale

Usare il Concrete con peso e massa nulla.

Sezioni

Le sezioni vanno denominate nel modo seguente:

Per le travi T-70x30 indica la trave alta 0,7 m e larga 0,3 m. ***

Per i pilastri P-80x40 indica il ritto con $l_x = 0,8$ m ed $l_y = 0,4$ m. ***

Per i pilastri si precisa che se la sezione 30x60 compare con il lato lungo in direzione x sarà indicata come P-60x30 se invece il lato lungo è orientato lungo y sarà indicata come P-30x60.

I carichi verticali sui pilastri

Lo sforzo assiale da carico verticale (in condizione sismica e non) si ottiene correttamente mediante un'analisi manuale (valutando i coefficienti di continuità); ai fini didattici tale procedura manuale va comunque svolta. Nella prospettiva di una procedura automatizzata di verifica si può procedere anche nel modo seguente.

Nei Load Cases verts e vertns, se si vuole ottenere una valutazione corretta della flessione nelle travi occorre definire i carichi su di esse massimizzando i coefficienti di continuità ed attribuendo

alle travi di bordo una certa portanza trasversale (senza togliere carico alle travi principali) tenendo conto quindi anche degli effetti di eventuali sbalzi laterali. In questo modo però si sopravvalutano gli sforzi assiali nei ritti e questa posizione non è in genere conservativa.

Se si vuole ottenere una più realistica valutazione degli sforzi assiali nei ritti da carico verticale (ed adoperare quindi una procedura automatica di verifica a pressoflex deviata dei ritti) è opportuno assegnare alle travi i carichi verticali senza tener conto dei coefficienti di continuità solaio/trave e degli effetti trasversali. Meglio ancora, andrebbe suggerito di effettuare la verifica dei ritti utilizzando entrambe le condizioni di carico sulle travi.

Il peso proprio dei ritti può essere considerato con forze nodali concentrate.

Load cases

| | |
|---|---|
| TVerts (carichi verticali in condizione sismica) | <i>finalizzata alla verifica delle travi</i> |
| TVertns (carichi verticali in condizione non sismica) | “ “ “ |
| PVerts (carichi verticali in condizione sismica) | <i>finalizzata alla verifica dei pilastri</i> |
| PVertns (carichi verticali in condizione non sismica) | |

Eccx (eccentricità accidentale intesa come $F \cdot 0,05 L_y$ ‘lato edificio ove F è l’azione sismica che si sarebbe utilizzata nell’analisi statica)

Eccy (eccentricità accidentale intesa come $F \cdot 0,05 L_x$ ‘ lato edificio

Analysis cases

| | |
|---------|---|
| Modal | |
| TVerts | linear static |
| TVertns | “ |
| PVerts | linear static |
| PVertns | “ |
| Eccx | “ |
| Eccy | “ |
| Modalex | response spectrum (spettro di progetto conforme alle NTC08) |
| Modaley | “ “ |

Eliminare il caso DEAD che il sap introduce d’ufficio.

Combinations

Le 32 combinazioni diventano 8 perché le sollecitazioni modali sono in valore assoluto ed il sap nelle combinazioni considera sia il segno + che il –; vanno ripetute due volte perché finalizzate rispettivamente alla verifica delle travi e dei pilastri:

quando nelle combinazioni compare modalex o y si tratta in realtà di un involuppo al variare del segno +/- delle sollecitazioni modali; quando si rappresenta la deformata si considerano i valori massimi degli spostamenti dei nodi e di conseguenza l’impalcato sembra perdere la sua forma rigida.

| | Tverts | modalex | eccx | modaley | eccy |
|-----|--------|---------|------|---------|------|
| TX1 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |

| | | | | | |
|-----|--|--|----|--|------|
| TX2 | | | | | -0,3 |
| TX3 | | | -1 | | 0,3 |
| TX4 | | | | | -0,3 |

| | TVerts | modaley | eccy | modalex | eccx |
|-----|--------|---------|------|---------|------|
| TY1 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| TY2 | | | | | -0,3 |
| TY3 | | | -1 | | 0,3 |
| TY4 | | | | | -0,3 |

n.b. tutte "Linear Add"

| | PVerts | modalex | eccx | modaley | eccy |
|-----|--------|---------|------|---------|------|
| PX1 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| PX2 | | | | | -0,3 |
| PX3 | | | -1 | | 0,3 |
| PX4 | | | | | -0,3 |

| | PVerts | modaley | eccy | modalex | eccx |
|-----|--------|---------|------|---------|------|
| PY1 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| PY2 | | | | | -0,3 |
| PY3 | | | -1 | | 0,3 |
| PY4 | | | | | -0,3 |

n.b. tutte "Linear Add"

n.b. dove non indicato (carattere blank) vale il moltiplicatore del rigo precedente.

ed ancora

Tenvxy (envelope) TX1 + TX2 + TX3 + TX4 + TY1 + TY2 + TY3 + TY4 + Vertns' unica utilizzata per le verifiche finali delle travi
 Penvxy (envelope) PX1 + PX2 + PX3 + PX4 + PY1 + PY2 + PY3 + PY4 ' utilizzata generalmente per le verifiche finali dei pilastri; *in questo caso diamo per scontato che i carichi verticali in condizione non sismica, che sono associati a momenti flettenti molto bassi, non determinino sollecitazioni pressoflessionali significative.*

Utilizzando l'involuppo di tutte le combinazioni perdiamo la capacità di individuare tutte le coppie N-M; operando a vantaggio di statica potremo considerare solo due terne Nmin-Mxmax-Mymax ed Nmax-Mxmax-Mymax.

Quando i modi traslativi presentano spostamenti non trascurabili anche nella direzione opposta a quella prevalente può convenire considerare involuppi parziali, considerando ad esempio separatamente tutte le combinazioni con sisma prevalente nella direzione x ed y.

Analisi con un modello piano.

L'analisi con un modello piano (in genere un treno di telai) è un passo utile nella procedura progressiva di progettazione; può tuttavia utilizzarsi anche il modello geometrico tridimensionale (anche in vista della successiva analisi spaziale) aggiungendo ad un nodo qualsiasi di ciascun impalcato un restraint che impedisca la rotazione intorno all'asse z ; ovviamente gli "analysis cases" eccx ed eccy perdono di significato.

Se si vuole adoperare il programma di post processamento è necessario considerare che in questo caso, non tenendosi conto dell'eccentricità accidentale con eccx ed eccy, è necessario incrementare le sollecitazioni/deformazioni con il fattore δ (diverso da telaio a telaio); se ci si accontenta di una verifica conservativa ma onerosa si possono incrementare tutte le sollecitazioni/deformazioni (tranne quelle derivanti da carichi verticali) per δ_{max} (circa 1.3).

Istruzioni essenziali per l'utilizzo della procedura di postprocessamento per la verifica dei ritti.

Selezionare tutti i ritti (o per praticità tutte le aste) ed assegnare solo due punti di output per ogni asta (assign/frames/output stations).

In tal caso però i diagrammi dei momenti nelle travi non vengono tracciati correttamente (manca la parabola). Per ottenerli correttamente far girare di nuovo il sap attribuendo alle aste almeno 4-5 punti di output.

Esportiamo in excel la tabella relativa alle sollecitazioni nelle aste riferite alla sola combinazione Penvxy – eliminiamo le righe e le colonne che non interessano –definiamo il formato delle celle come numero con 2 decimali- salviamo in formato testo col nome "forze.txt" – apriamo con word e trasformiamo il file nel modo seguente:

(sostituiamo , con . e dopo TAB con ,) (Occorre usare in ambiente word il comando "sostituisci"; per sostituire la tabulazione con la virgola bisogna adoperare l'opzione altro/speciale.).

Aggiungiamo una prima riga di titolo (ad esempio "forze"); il file assumerà il seguente formato:

forze

1,0.00,0.00,0.84

1,0.00,0.00,13.24

1,0.00,0.00,-29.30

1,0.00,0.00,-22.28

109,12.89,79.80,192.83

109,12.89,82.35,116.43

109,-956.80,-84.11,-137.42

109,-956.80,-78.19,-172.15

110,-37.30,86.53,191.72

110,-37.30,86.86,110.69

110,-697.18,-90.59,-133.00
110,-697.18,-83.13,-172.29

ove sono indicati separati da virgole il n° dell'asta, lo sforzo assiale, M2 (che agisce nel piano yz) ed M3 (che agisce nel piano xz), nell'ordine prima i valori massimi alle estremità dell'asta e di seguito i minimi.

Esportiamo in excel la tabella relativa alle sezioni delle aste – eliminiamo le righe e le colonne che non interessano – salviamo in formato testo col nome “sezioni.txt” – apriamo con word e trasformiamo il file in modo da ottenere il seguente formato, aggiungendo sempre un primo rigo di titolo:

sezioni

1,T,23,110
109,P,60,30
110,P,60,30
111,P,60,30
112,P,60,30
113,P,60,30
134,P,60,30
135,P,60,30
136,P,60,30
137,P,60,30
138,P,60,30
139,P,40,60
140,P,40,60
141,P,30,60
142,P,30,60
143,P,30,60
144,P,40,60
145,P,40,60
146,P,30,60
147,P,30,60
148,P,30,60

ove sono indicati il numero dell'asta, T o P (trave o pilastro), lx ed ly (in cm).

Esportiamo in excel la tabella relativa alle connessioni delle aste – eliminiamo le righe e le colonne che non interessano – salviamo in formato testo col nome “conness.txt” – apriamo con word e trasformiamo il file in modo da ottenere il seguente formato, sempre aggiungendo una prima riga di titolo:

connessioni

1,622,628
109,132,232
110,232,332
111,332,432
112,432,532
113,532,632
134,106,206
135,206,306
136,306,406
137,406,506

138,506,606
 139,120,220
 140,220,320
 141,320,420
 142,420,520
 143,520,620
 144,126,226
 145,226,326
 146,326,426
 147,426,526

che indica il n° dell'asta ed i numeri dei nodi che l'asta connette. Dalla numerazione dei nodi è possibile individuare facilmente l'asta

Occorre fare molta attenzione al formato dei file di input; ad esempio i file non devono contenere righe bianche né alla fine né all'inizio. Una eventuale doppia virgola introdurrebbe un "dato" in più pari ad uno zero. I caratteri (nascosti) di andata a capo o cambio pagina rendono i file non correttamente leggibili.

Il programma di post processamento del sap , per la verifica finale dei pilastri, si compone di due moduli eseguibili (.exe) ; esso elabora i tre files di input e produce due files di output di cui il secondo (al quale fare riferimento) "Risord" ha il seguente formato:

| Nº | Lx | Ly | Mxmax | mrdx | Mymax | Mrdy | N | Asx | Asy |
|----------|-----|----|--------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|
| 1 | 101 | | | | | | | | |
| 698 | 60 | 40 | 147.75 | 241.6 | 239.62 | 392.6 | 96.52 | 24.64 | 24.64 |
| 3.856666 | | | % | | | | | | |
| 698 | 60 | 40 | 147.75 | 240.88 | 239.62 | 375.38 | -1270.07 | 10.78 | 10.78 |
| 1.546667 | | | % | | | | | | |
| 101 | 201 | | | | | | | | |
| 674 | 60 | 30 | 90.23 | 139.95 | 182.17 | 304.7 | 32.95 | 20.02 | 18.48 |
| 3.944444 | | | % | | | | | | |
| 674 | 60 | 30 | 90.23 | 149.06 | 182.17 | 300.21 | -985.86 | 10.78 | 9.24 |
| 1.891111 | | | % | | | | | | |
| 201 | 301 | | | | | | | | |
| 679 | 60 | 30 | 97.01 | 158.16 | 175.69 | 294.24 | -23.88 | 21.56 | 16.94 |
| 3.944444 | | | % | | | | | | |
| 679 | 60 | 30 | 97.01 | 155.91 | 175.69 | 291.74 | -717.68 | 12.32 | 9.24 |
| 2.062222 | | | % | | | | | | |
| 301 | 401 | | | | | | | | |
| 684 | 60 | 30 | 89.28 | 141.8 | 155.13 | 253.49 | -63.91 | 18.48 | 13.86 |
| 3.26 | | | % | | | | | | |
| 684 | 60 | 30 | 89.28 | 141.65 | 155.13 | 263.22 | -469.87 | 12.32 | 9.24 |
| 2.062222 | | | % | | | | | | |
| 401 | 501 | | | | | | | | |
| 689 | 60 | 30 | 69.65 | 110.08 | 142.75 | 230.21 | -74.06 | 13.86 | 12.32 |
| 2.575556 | | | % | | | | | | |
| 689 | 60 | 30 | 69.65 | 110.49 | 142.75 | 249.09 | -254.9 | 10.78 | 10.78 |
| 2.062222 | | | % | | | | | | |

il programma effettua la verifica a pressoflessione deviata determinando l'armatura strettamente necessaria costituita da ferri da 14 pari o superiore all'1%.

La prima riga indica i nodi connessi dall'asta; se avremo rinumerato i nodi secondo le istruzioni fornite sarà facile riconoscere la posizione dell'asta.

La seconda e la quarta riportano i dati della verifica ai due estremi del ritto associando sempre il Momento max (in valore assoluto) rispettivamente ad N_{max} ed N_{min} (con il loro segno). Sono anche indicate (terza e quinta riga) le corrispondenti percentuali geometriche di armatura considerando 4 ferri da 14 negli spigoli.

Viene quindi fornita un armatura costante per ciascun ordine.

La versione 11 consente di tener eventualmente conto nelle verifiche anche delle armature di parete e di disporre nei vertici ferri da 20, per diminuire la percentuale geometrica di armatura.

Il programma inoltre segnala l'eventuale non soddisfacimento di quanto previsto al punto 7.4.4.2.2.1. (sforzo assiale eccessivo). In questo caso sarà necessario incrementare la sezione geometrica del pilastro, o prendere provvedimenti che ne diminuiscano lo sforzo assiale massimo.

Al primo ordine, quando la percentuale risultasse notevole, può essere conveniente accertarsi, dai risultati del modello, se il momento alla base è molto maggiore di quello in testa. In questo caso sarà opportuno predisporre un'armatura di attesa dalla fondazione pari a quella fornita dal tabulato ed "alleggerire" la gabbia di armature del primo ordine sulla base delle sollecitazioni in testa al pilastro.

Con M_{xmax} e m_{rdx} si indicano rispettivamente il massimo momento di calcolo ed il momento resistente nel piano yz mentre con A_{sx} si indica l'armatura disposta sul lato della sezione parallelo ad x; in questo modo ci si è uniformati alla simbologia usata da Gherzi anche nel programma MN.xls.

Il secondo file di output "risulv" contiene gli stessi risultati ma non vengono stampati in ordine (pilastro per pilastro dal primo ordine all'ultimo).

E' opportuno effettuare sempre delle verifiche autonome per controllo ad esempio:
con il programma MN.xls (A.Gherzi)
con il programma EC2 (domini) (A.Gherzi)

Il programma non fa altro che leggere le sollecitazioni massime e minime nei pilastri, la sezione degli stessi ed i nodi che connette.

Viene effettuata la verifica a pressoflessione prima retta e poi deviata secondo i criteri illustrati nel testo.

Si parte da un'armatura pari all'1% e la si incrementa progressivamente nel caso che la verifica non sia soddisfatta; gli incrementi (pari a due ferri da 14) vengono assegnati sui lati x ed y a seconda che la verifica a presso flessione retta sia meno favorevole rispettivamente nel piano yz ovvero xz.

Tale procedura automatica può essere applicata a qualsiasi condizione di carico considerata o a qualsiasi inviluppo.

Si segnala infine che l'ambiente Quick Basic presenta problemi in relazione alla memoria disponibile. Per tale motivo il programma potrebbe non "girare" per sistemi con elevato numero di aste o con numerazioni estese delle stesse.

Istruzioni operative per l'uso del programma

Creare in C una nuova cartella chiamata QB

Creare in QB una nuova cartella chiamata Dati

Copiare in QB il file verpil1*.exe e riord*.exe (* indica il numero della release)

Copiare in Dati i file sezioni.txt, conness.txt, forze.txt

Lanciare il programma verpil

Fornire le informazioni richieste...

Lanciare il programma riord

Fornire le informazioni richieste...

Leggere e stampare in Dati il file Risord (creato da riord)

Se si riutilizza il programma (per un secondo modello ovvero per altre condizioni di carico) conviene cambiare nome ai file forze,sezioni,conness e risord che altrimenti si perderebbero per sovrapposizione.

Istruzioni per l'utilizzo del programma nell'ambito delle NTC08.

Il programma chiede di precisare un coefficiente amplificativo dei momenti nei ritti per tener conto della gerarchia delle resistenze.

Si consiglia di assumere per tale coefficiente valori non inferiori ad 1.3 e 1.5 rispettivamente per CDB e CDA. Il file di output Risord riporterà quindi i momenti di calcolo amplificati in base ai quali viene dimensionata l'armatura.

Sarà comunque necessario successivamente controllare il rispetto effettivo della gerarchia sulla base dei momenti resistenti delle travi quando cioè ne sarà stata determinata dettagliatamente l'armatura.