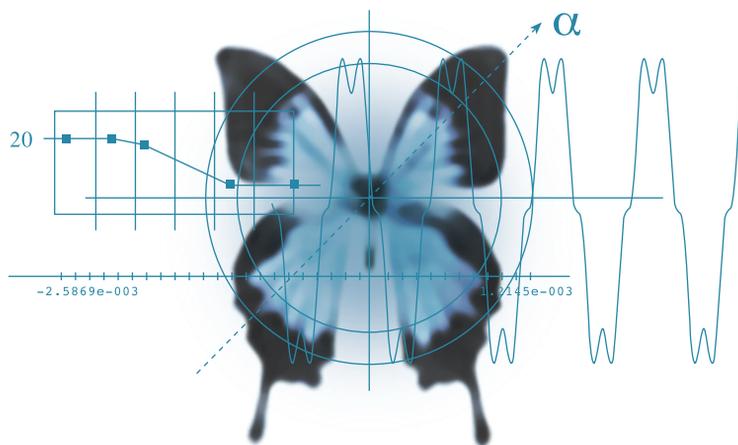


ROBERTO SPAGNUOLO | GIUSEPPE PASCUCCI

CONCETTI

DI INGEGNERIA ANTISISMICA
ALLA BASE DELLA NUOVA
NORMATIVA



INDICE

Premessa	5
1. Introduzione al corso.....	10
2. La simulazione virtuale.....	20
3. La duttilità.....	33
4. La tecnica dello spettro di risposta	40
5. Duttilità delle membrature in calcestruzzo armato	45
6. Effetti del secondo ordine	53
7. Analisi dinamica nel dominio del tempo.....	63
8. Capacity design.....	74
9. MultiStage	79

Percorsi progettuali	87
Presentazione	89
Introduzione	90
Percorso 1	92
Percorso 2	118
Percorso 3	152
Percorso 4	168
Percorso 5	174
Percorso 6	191

Easy Beam per immagini.....	217
------------------------------------	------------

Cenni sull'origine dei terremoti di Elena Spagnuolo	239
--	------------

PERCORSI PROGETTUALI

PRESENTAZIONE

Questi *Percorsi* nascono come strumento di progettazione del nostro software. Sviluppati soprattutto con la comparsa della nuova normativa antisismica, intendevano tracciare un elenco di azioni che il progettista doveva effettuare in modo da ottenere nel modo più semplice e nello stesso tempo flessibile l'adempimento dei requisiti di normativa.

Su questi *Percorsi* si sono affinate le procedure e i criteri di interfaccia grafica rendendo più espliciti i comandi e le assegnazioni che potevano risultare poco chiare. Insomma, sono nati come una “mappa” per definire, tracciare e scoprire il percorso migliore per raggiungere un obiettivo. E poiché di obiettivi nel progetto ingegneristico ve ne sono tanti, i *Percorsi* hanno iniziato a moltiplicarsi.

Essi si sono dimostrati uno strumento incredibilmente e inaspettatamente efficace per individuare e definire con chiarezza gli obiettivi, uno strumento anche di più efficace delle classiche “specifiche tecniche” in quanto consentivano una visione dinamica di tutto il processo e inoltre si sono rivelati dei “contenitori” efficaci per raccogliere in modo organico e efficace le osservazioni che venivano man mano fatte sulle procedure e sulle opportunità di migliorare o modificare tali procedure.

Terminato l'uso progettuale dei *Percorsi* ci siamo trovati a disporre di testi molto dettagliati e aggiornati sul percorso migliore e consigliabile per raggiungere l'obiettivo di una progettazione consapevole ma allo stesso tempo produttiva.

Questi *Percorsi* sono stati dotati fin dall'inizio, di una sezione di osservazioni sull'uso del software e di interpretazione della normativa. Questo perché, essendo strumenti di lavoro, dovevano poter accogliere le osservazioni, le critiche, le riflessioni che venivano fatte per ottimizzare lo sviluppo di nuove funzionalità.

Questa suddivisione si è rivelata piuttosto comoda in quanto consente anche adesso una lettura su più livelli di approfondimento.

Questi *Percorsi*, insieme alle versioni FreeLite dei nostri programmi sono tra i più scaricati dal nostro sito. Abbiamo pensato quindi di raccoglierci in un volumetto che possa essere di più comodo impiego per i progettisti.

INTRODUZIONE

Questi “percorsi” sono delle indicazioni “passo passo” per soddisfare i requisiti di normativa e progettuali con i nostri programmi.

Si assume che siano già noti i comandi dei nostri programmi.

I nostri programmi non sono “procedurali” nel senso che non obbligano l'utilizzatore a un percorso unico ma sono pensati per poter soddisfare le esigenze di verifica e di progetto più ampie. Quindi questi “percorsi” sono uno dei tanti possibili e quelli che noi riteniamo più produttivi. Non è detto che siano i più adatti alle esigenze o ai gusti di tutti i progettisti che possono quindi seguire la strada che preferiscono.

I programmi di EasyWorld, mantenendo la generalità di impiego che è indispensabile in programmi per il progetto strutturale, sono stati arricchiti di funzioni ausiliarie, spesso affidate ai plug-in, per automatizzare al massimo il soddisfacimento delle esigenze di normativa consentendo un “percorso” progettuale secondo normativa piuttosto agevole.

Per rendere il più possibile proficuo l'uso di questi “percorsi”, abbiamo pensato di informare contemporaneamente su più aspetti:

- Il percorso consigliato
- Commenti e approfondimenti di normativa o di buon progetto (*“Approfondimenti sulla Normativa”*)
- Approfondimenti sull'approccio del software al problema e sviluppi previsti del nostro software (*“Approfondimenti sul software”*)

Per non appesantire la lettura abbiamo scritto le informazioni aggiuntive sotto forma di note affiancando al testo del “percorso” dei richiami alle note che abbiamo raccolto in fondo al “percorso”.

Gli argomenti trattati in questo testo sono nostri consigli, soprattutto riguardo l'applicazione della normativa e quindi è compito del progettista valutarne l'applicabilità al proprio caso specifico e la validità in senso più generale. Infatti, nonostante gli sforzi che abbiamo profuso soprattutto per interpretare correttamente la normativa, non escludiamo vi possano essere degli errori

o delle omissioni. Per quanto riguarda le note sugli “sviluppi futuri” si tratta di note sullo stato attuale di progetto del software, non costituiscono alcun impegno da parte nostra che tali progetti siano portati a compimento e lo siano nei termini descritti.

Normativa di riferimento

La normativa di riferimento in questa esposizione è la OPCM 3431 del 3 maggio 2005 a modifica della OPCM 3274 del 20 marzo 2003.

Dove opportuno, riportiamo il riferimento alla OPCM precedendo la citazione del paragrafo di normativa con la lettera O.

Notiamo che al momento attuale l'Eurocodice 8, al quale la OPCM si ispira fortemente, è in via di accoglimento. L'EC8 è meglio messo a punto della OPCM e potrà essere adottato perché normativa europea e perché la normativa sulle costruzioni (“Testo unico”) lo ammette. Quindi alcune prescrizioni di normativa (soprattutto quelle minori e più “inconsuete”) probabilmente spariranno. Pertanto si deve tener presente che l'adozione della normativa nella pratica reale del progetto non è ancora stabilizzato. Quindi anche il software deve seguire questi eventi e purtroppo non può precederli perché l'organizzazione di questo iter normativo non lo ha consentito e non lo consente. Noi, come Softing, siamo attentissimi al problema, abbiamo partecipato e partecipiamo quanto ci viene consentito al dibattito pubblico e quindi vi garantiamo la massima attenzione per il problema.

PERCORSO 1

Analisi di struttura intelaiata in calcestruzzo secondo Ordinanza 3274 e s.m.

Oggetto del percorso

Questo percorso riguarda l'analisi di una struttura nuova in cemento armato destinata a civile abitazione realizzata con struttura intelaiata senza elementi scatolari o pareti portanti. Gli impalcati si assumeranno infinitamente rigidi.

NOTA: Il progetto delle armature degli elementi strutturali e le relative verifiche sono affidati al "Percorso 2". Un tutorial sull'intero percorso progettuale è affidato al "Percorso 6".

I programmi impiegati sono:

- Nòlian

Passi del percorso

Anticipiamo i passi da compiere e gli elementi da considerare, che saranno descritti in dettaglio in seguito, per dare un'idea sintetica del percorso progettuale.

Analisi:

- Definizione del modello di calcolo
- Scelta del metodo di analisi
- Definizione delle caratteristiche della struttura
- Generazione degli spettri di risposta
- Assegnazione dei parametri per l'analisi dinamica
- Distribuzione accidentale delle masse e torcente di piano
- Effetti del secondo ordine
- Verifiche stato limite di danno
- Verifiche della validità dell'ipotesi di impalcato infinitamente rigido
- Verifiche che l'ipotesi di duttilità sia rispettata
- Combinazioni di progetto

Il percorso di analisi

Definizione del modello di calcolo

Il modello di calcolo deve rappresentare adeguatamente i problemi strutturali (O 4.4). Si assume che la costruzione del modello tramite i comandi di

Nòlian sia noto al lettore questo aspetto non sarà quindi qui trattato. Gli impalcati si assumono infinitamente rigidi nel proprio piano e si intendono modellati con il metodo Master-Slave.

Seguono alcune note informative su alcuni argomenti più specifici che può essere utile chiarire.

Assegnazione delle masse

Per effettuare una analisi dinamica modale, devono essere assegnate le masse agenti sulla struttura. Questa assegnazione, più attinente alla modellazione, nella normativa è esposta nel capitolo relativo alla “Combinazione delle azioni sismiche con gli altri carichi” (O 3.3) generando, a nostro avviso qualche confusione. Le masse da assegnare devono corrispondere ai carichi permanenti e alle componenti “gravitazionali” dei carichi accidentali (O 3.3). I carichi accidentali vengono ridotti in funzione di una coppia di parametri definiti dalla normativa. Ad esempio, per i carichi indipendenti in una abitazione i coefficienti previsti sono $0.3 \times 0.5 = 0.15$. Se si ha, ad esempio, una componente di carico gravitazionale linearmente distribuito di 10 N/m, la massa relativa sarà di $10 / 9.81 \times 0.15 = 0.153$ kg/m. Questa assegnazione, basata sui carichi già assegnati alla struttura, può anche essere eseguita in automatico assegnando ad ogni condizione di carico il rispettivo moltiplicatore di conversione. Naturalmente si possono assegnare i carichi sugli elementi anche suddividendoli in più condizioni di carico in modo tale da usare differenti moltiplicatori anche per lo stesso tipo di carico. A esempio i carichi di piano e di copertura anche se della stessa natura hanno moltiplicatori diversi e quindi può essere utile affidarli a due differenti condizioni di carico.

Condizione ▲	Moltiplicatore
#1	1.000000
#2	0.300000
#3	0.300000

Accelerazione di gravità

Aggiungi alle masse già assegnate

Sostituisci le masse già assegnate

Forma prima dell'analisi

Usa moltiplicatori dei tipi

Se sono già stati definiti i “Tipi di carico” (vedere il capitolo sulle Combinazioni) il moltiplicatore può essere desunto automaticamente dai parametri già assegnati al tipo di carico.

Rigidezza ridotta

La normativa (O 4.4) consente una riduzione della rigidezza. È una possibilità e non una prescrizione pertanto in questo percorso non la attueremo. Per chi fosse interessato, notiamo che è sufficiente modificare il modulo di elasticità degli elementi.

Assegnazione del sistema master-slave

Si ricorda che la funzione “Forma nodo baricentrico” consente di selezionare gli oggetti di impalcato dotati di massa e di formare un nodo in posizione baricentrica. Il nodo master deve essere il baricentro del sistema di masse. Per l’associazione dei nodi slave al master di piano, è sufficiente selezionare tutti i nodi di impalcato e quindi associarli al master. Infatti anche se vi sono degli elementi Rigel, il cui nodo secondario non può essere associato a un nodo master, la funzione di assegnazione di Nòlian automaticamente non assegna la dipendenza slave ai nodi, eventualmente selezionati, che siano secondari di un Rigel. In questo modo se un impalcato ha dei Rigel, una selezione totale di impalcato può essere effettuata per selezionare gli slave in quanto i secondari Rigel saranno automaticamente eliminati dall’assegnazione. Quindi la generazione dell’impalcato rigido è molto agevole.

Scelta del metodo di analisi

L’analisi che impiegheremo per la valutazione delle azioni sismiche è l’analisi dinamica modale.

[Vedi anche “Approfondimenti sulla Normativa”: **1. Sull’analisi “pushover”**]

Definizione delle caratteristiche della struttura

La definizione delle caratteristiche della struttura e della sua ubicazione sono legate soprattutto ai requisiti di normativa. L’operazione non richiede alcuna automazione. È solo opportuno avere chiaro il quadro degli aspetti da considerare. Per comodità elenchiamo gli aspetti che vanno considerati e valutati.

- 1) Zona sismica (O 3.2.1). Nel nostro percorso si assume 1.
- 2) Categoria del suolo (O 3.1). Nel nostro percorso si assume A
- 3) Tipologia costruttiva (O 4.1). Qui si assume: telaio a più piani e più campate.
- 4) Classe duttilità. Qui si assume Alta.
- 5) Regolarità (O 4.3.1). Qui si assume regolare sia in pianta che in altezza.

6) Fattore di importanza (O 4.7) Qui si assume pari a 1.0

I punti da 2 a 5 serviranno per determinare lo spettro di risposta. Il punto 1 per determinare l'accelerazione al suolo da assegnare direttamente al programma, il punto 6 serve solo per valutare gli spostamenti al limite di danno e per formare le combinazioni di progetto.

Due punti meritano maggiore attenzione: regolarità e classe di duttilità.

Classe di duttilità

La classe di duttilità in cui progettare è una scelta progettuale da fare al momento del progetto. Nell'analisi la classe di duttilità influisce solo sullo spettro di risposta. Nelle prescrizioni invece di progetto e di verifica delle membrane strutturali la classe di duttilità influisce molto sul progetto delle membrane.

Regolarità (O 4.3.1)

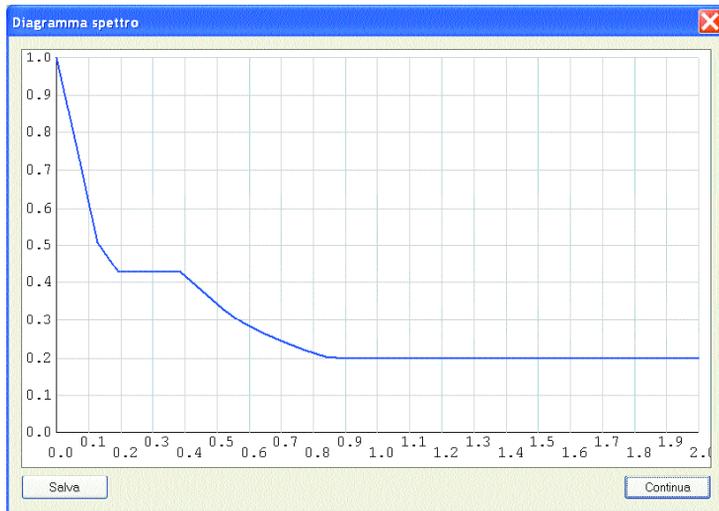
La regolarità in pianta è definita tramite pochi requisiti facilmente riscontrabili. La regolarità in altezza influisce anche sullo spettro di risposta ed è meno facilmente determinabile. Oltre a dei requisiti di facile riscontro si deve verificare che massa e rigidità siano costanti per tutti i piani o varino entro percentuali assegnate. Se la struttura ha realmente una uniformità di sviluppo, riteniamo che ciò sia sufficiente ad affermare il criterio di regolarità. In casi di variazioni l'eventuale soddisfacimento di questo requisito è più difficile da dimostrare. Viene anche richiesto, se si progetta in bassa duttilità, che la rigidità della struttura dopo il progetto delle armature non sia sensibilmente variato da quello di analisi. Questo requisito sarebbe onerosissimo da dimostrare fino ai limiti della impossibilità pratica. A nostro avviso se la progettazione degli elementi strutturali avviene con criteri uniformi questo criterio dovrebbe essere automaticamente rispettato.

In ogni caso, il plug-in "Riposizionamento nodo Master" ha come funzionalità accessoria la possibilità di calcolare la massa di piano e la rigidità di piano, richieste per la verifica della regolarità in altezza. Se quindi si desidera questo controllo di tipo più quantitativo che qualitativo, si può fare ricorrendo a questo plug-in.

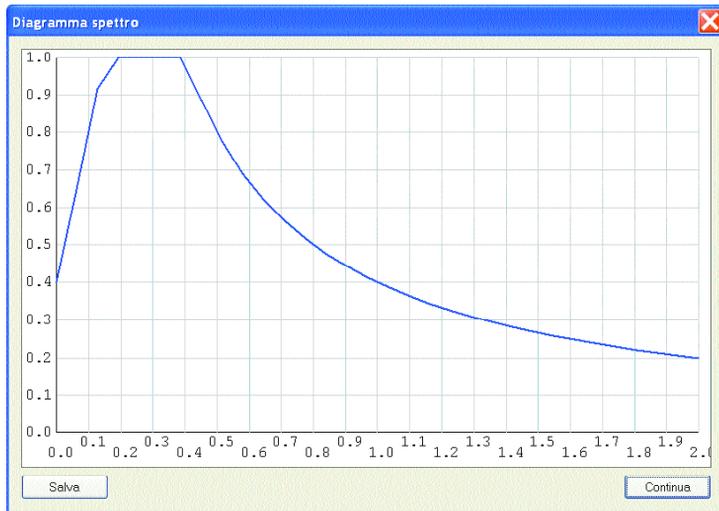
Il plug-in per il riposizionamento del nodo master per la distribuzione accidentale della masse, fornisce anche i dati di piano che possono essere impiegati per una valutazione analitica della regolarità in altezza.

Generazione degli spettri di risposta

La generazione avviene tramite il plug-in “spettro”. Assegnando le caratteristiche sopra riportate si genera un file di testo che verrà poi assegnato a Nòlian come appresso indicato. Si consiglia di denominare il file in modo mnemonicamente efficace e di raccogliere gli spettri tutti in un cartella (il programma è rilasciato con un file con lo spettro del DM 16 gennaio 1996 nella cartella “Spettri”). Si consiglia di formare subito tutti gli spettri necessari: per lo stato limite ultimo (SLU) (O 3.2.5), per lo stato limite di danno (SLD) (O 3.2.6) e per eventuali azioni verticali (O 4.6), qui non considerate. Se si progettano strutture simili nella stessa zona lo spettro può essere riutilizzato, non deve essere rigenerato per ogni progetto. Per questo percorso, assumiamo di aver denominato gli spettri MiaStrutturaSLU.txt e MiaStrutturaSLD.txt . Si noti che gli spettri usati da Nòlian, rispetto alla descrizione formale della normativa, sono a meno della accelerazione al suolo a_g che va assegnata separatamente in Nòlian. Questo rende più generale l'uso degli spettri.



Spettro SLU



Spettro SLD

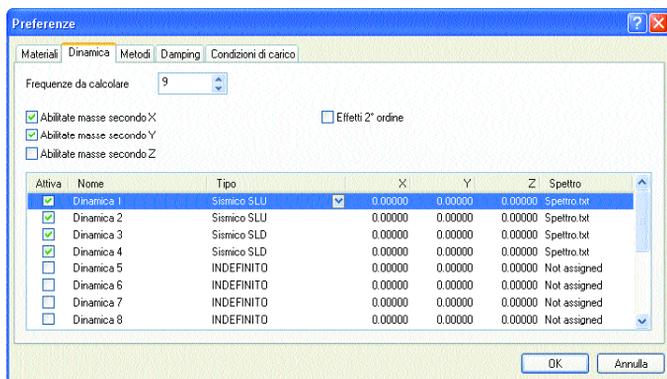
[Vedi anche “Approfondimenti sul software”: 1. Perché Nòlian usa spettri di risposta su file di testo]

[Vedi anche “Approfondimenti sulla Normativa”: 4. Testo unico e spettro limite di danno]

Assegnazione dei parametri per l'analisi dinamica

L'assegnazione in Nòlian dei parametri di calcolo per l'analisi sismica è molto semplice.

Nòlian, per l'analisi sismica (dinamica), esegue un'analisi modale seguita da un'analisi con la tecnica dello spettro di risposta. Per tale tecnica si possono ottenere simultaneamente, cioè con una sola analisi, più risposte dipendenti da differenti spettri di risposta e differenti accelerazioni al suolo e direzioni della accelerazione.



Componenti della accelerazione al suolo per ogni direzione

L'assegnazione avviene sotto forma di vettore quindi è necessario assegnarne le tre componenti vettoriali come si desidera. L'accelerazione al suolo è stabilita dalla normativa (O 3.2.1) ed è espressa come moltiplicatore della accelerazione di gravità g . Quindi, ad esempio, per la zona 1 la accelerazione al suolo è $0.35 g$. Quindi, se come unità di misura si usa il centimetro, si deve assegnare: $0.35 \times 981 = 343.35$. La normativa richiede che vengano almeno considerate due direzioni ortogonali. Quindi assegneremo per la prima condizione dinamica la terna delle tre componenti vettoriali di direzione x,y,z i valori $343.35; 0.0; 0.0$. Per la seconda $0.0; 343.35; 0.0$. In questo percorso si assume che non sia necessario considerare una accelerazione verticale (O 4.6). Se è necessario, possiamo usare la terza condizione per questa assegnazione. Poiché desideriamo contemporaneamente eseguire le analisi dinamiche anche per lo stato limite di danno, impiegheremo le condizioni dinamiche 3 e 4 per questo scopo. Poiché in Nòlian si possono usare molte condizioni, ricordarsi di contrassegnare quelle attive che si vogliono usare.

Spettri di risposta

Accanto ad ogni condizione dinamica assegnare il nome del file di testo al quale è affidato lo spettro di risposta corrispondente. Nel nostro percorso per

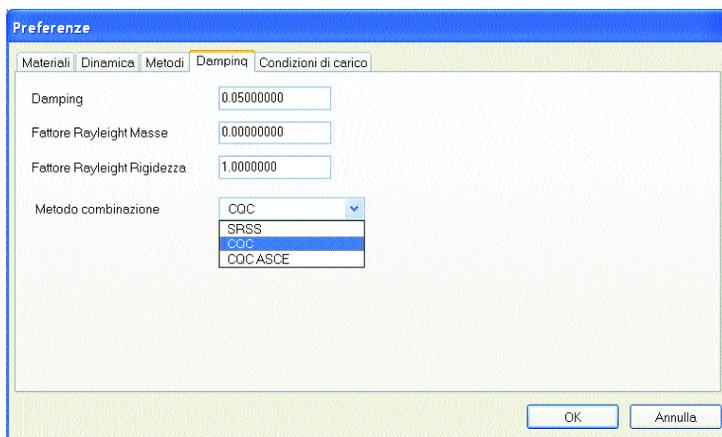
le condizioni 1 e 2 useremo lo spettro MiaStrutturaSLU.txt e per la 3 e 4 lo spettro MiaStrutturaSLD.txt . Per assegnare il file di spettro agire sul bottone e scegliere il file dal dialogo standard di apertura di file. Per assegnare lo stesso spettro per più condizioni agire sul bottone e scegliere il file direttamente tra quelli proposti dal menu che si aprirà.

Tipi di carico

A ogni azione dinamica, oltre al nome a piacere, si può assegnare il corrispondente “Tipo di carico” precedentemente definito. (Si veda anche il capitolo sulle Combinazioni). In tal modo il tipo di carico risulterà già assegnato e al momento della effettuazione delle combinazioni delle azioni in automatico, nessuna altra operazione sarà necessaria a questo scopo.

Metodo di combinazione delle componenti modali

Secondo la normativa (O 4.5.3) le componenti modali possono essere combinate sia con il metodo SRSS (*Square Root of Sum of Squares*) oppure CQC (*Complete Quadratic Combination*). La seconda è computazionalmente un po’ più gravosa ma per la prima la OPCM ha delle restrizioni e quindi, per evitare dubbi, si consiglia di applicare la CQC. In Nòlian sono possibili entrambe. Per strutture “normali” i risultati differiscono in modo impercettibile. Il tipo di combinazione si assegna nel dialogo “Damping”. L’assegnazione viene memorizzata dal programma e, se questa è la vostra scelta abituale, non dovrete tomarvi sopra per le prossime strutture. La combinazione CQC ASCE, che può essere selezionata, è la modalità di combinazione CQC secondo la normativa statunitense ASCE. Ovviamente non va considerata se si usa la normativa italiana.



Smorzamento

Qualora la struttura sia costituita da elementi strutturali con lo stesso valore di smorzamento, è sufficiente assegnare nel dialogo “Dumping” (vedi la figura precedente) il valore di smorzamento in rapporto allo smorzamento critico. Questa assegnazione è un valore di “default” che verrà assegnato a tutti gli elementi. Infatti in Nòlian è possibile trattare anche strutture con elementi strutturali a differenti valori di smorzamento. Lo smorzamento associato agli elementi è assegnabile nei dialoghi delle masse degli elementi. Il valore di smorzamento non ha alcun effetto sulla combinazione SRSS ma influenza la combinazione CQC. Lo smorzamento influenza anche lo spettro di risposta. Per strutture dove si impieghino elementi strutturali con lo stesso valore di smorzamento non si devono assegnare i coefficienti di Rayleigh.

Lo smorzamento nella OPCM pare essere il 5% per ogni tipi di materiale. Diciamo pare perché non abbiamo trovato riferimenti espliciti ai valori di smorzamento se non relativamente alla formazione dello spettro. Notoriamente lo smorzamento è legato anche al tipo di materiale.

[Vedi anche “Approfondimenti sul software”: **2. Strutture a smorzamento misto**]

Distribuzione accidentale delle masse e torcente di piano

[Vedi anche “Approfondimenti sulla Normativa”: **2. Distribuzione accidentale delle masse**]



In questo percorso impiegheremo il metodo dell’azione torcente (per conoscere l’alternativa, vedere l’approfondimento). Con tale metodo formeremo una sola nuova condizione di carico che chiameremo Torcente e, impiegando l’apposito plug-in, formeremo la condizione di carico prevista dalla normativa. Useremo lo stesso valore per entrambe le direzioni assumendo il valore massimo tra le eccentricità per le due direzioni. In questo modo, aggravando solo in modo, generalmente, non significativo le sollecitazioni, semplifichiamo molto l’iter progettuale. Il momento torcente per ogni piano rigido è applicato al nodo master che gli compete e quindi questo metodo può essere

impiegato, tramite il plug-in, solo se gli impalcati si assumono infinitamente rigidi. La OPCM è, del resto, tutta improntata a questo approccio. Ricordare quanto è necessario fare prima di usare il plug-in:

- Le forze di piano vengo desunte dal sistema di masse e quindi le masse devono essere state assegnate alla struttura prima di usare il plug-in.
- Prima di usare il plug-in si deve anche aver generato la condizione di carico per accogliere i momenti di piano.

Il plug-in, opera sulle masse convertendole per ottenere i pesi delle masse e quindi le forze statiche equivalenti dalle quali ottenere il momento torcente di piano. Per questa conversione impiega il valore di accelerazione di gravità assegnata in Nòlian per la conversione dei carichi in masse. Le forze da attribuire ai piani vengono, per normativa, moltiplicate per un coefficiente che l'OPCM (O 4.5.2) definisce $S_d(T1) 1/g$ dove $S_d(T1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto per il primo periodo. Si noti che Nòlian usa spettri adimensionallizzati e cioè non moltiplicati per l'accelerazione al suolo a_g . Se si usa il plug-in di Nòlian per generare lo spettro e se si consulta il file di testo da esso generato per valutare S_d , tale valore va moltiplicato semplicemente per a_g/g e cioè per il valore tabellato dalla OPCM per le accelerazioni al suolo (O 3.2.1) in quanto l'accelerazione di gravità g è al denominatore e quindi si elide. Con un esempio, per la zona 1, a_g/g è 0.35. Se si ha un edificio di più di due piani, con periodo basso e risposta unitaria, il coefficiente da affidare al plug-in è semplicemente $1 * 0.35 * 0.85$. Questo moltiplicatore è del tutto analogo a quello del DM 1996 e di molte altre normative e quindi il plug-in consente di operare pressoché con qualsiasi normativa.

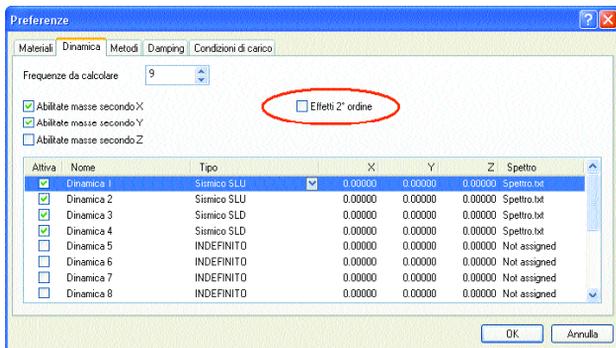
Per il caso dello Stato Limite di Danno si ricorda che si deve usare lo spettro relativo che è diverso da quello per lo Stato Limite Ultimo.

Questo moltiplicatore deve essere assegnato nel dialogo del plug-in. La condizione di carico con l'azione torsionale dovrà essere poi combinata, prima del progetto delle membrature, con quelle derivanti dalle due azioni dinamiche. Dei criteri di combinazione tratteremo nell'apposita sezione successiva.

Effetti del secondo ordine

È molto difficile che strutture in calcestruzzo ben dimensionate abbiano bisogno di analisi per effetti del secondo ordine che è invece sempre consigliabile per strutture in acciaio. Per questo motivo, in questo percorso, non eseguirò questo tipo di analisi.

Per strutture snelle consigliamo invece sempre di eseguire un'analisi statica per effetti non lineari del secondo ordine. Nòlian consente anche di effettuare una analisi dinamica che tenga conto degli effetti della forza assiale sulla determinazione dei periodi propri e che quindi è molto più accurata di quella standard. Per effettuare questa analisi, è sufficiente attivare l'opzione nel dialogo delle opzioni dinamiche.



Salvo il fatto che, ovviamente, l'onere computazionale è maggiore, non vi è alcun cambiamento nella prassi successiva: i risultati ottenuti sono formalmente identici a quelli senza effetti del secondo ordine salvo il fatto, ovviamente, che vengono tenuti in conto.

La normativa (O 4.11.1.1) richiede una verifica per stabilire se gli effetti del secondo ordine siano significativi. Si tratta di una verifica molto onerosa rispetto ai vantaggi che consente. In Nòlian attualmente non vi è alcun automatismo per soddisfare questa richiesta. Chi volesse fare un'analisi per effetti del secondo ordine deve ricordare di formare una combinazione di carichi verticali che sia rappresentativa di tutti i carichi che possano influire su questo comportamento. Ciò si ottiene facilmente in Nòlian generando automaticamente una nuova condizione come combinazione di altre condizioni. Quindi, assegnati tutti i carichi di progetto, si può generare una nuova condizione somma dei carichi significativi per questo tipo di analisi. Anche su questo punto, quali carichi cioè vanno considerati, la normativa non è chiara.

Verifiche stato limite di danno

La OPCM richiede di verificare che gli spostamenti relativi di interpiano siano inferiori a quantità previste dalla normativa (O 4.11). Gli spostamenti ottenuti dalle analisi sismiche per SLD devono essere amplificati del coefficienti di Importanza.

Queste verifiche devono essere effettuate impiegando delle combinazioni delle azioni molto simili, formalmente, a quelle di progetto (per lo stato limite ultimo). Queste verifiche possono essere eseguite in automatico in EasyBeam che provvede a formare le combinazioni delle azioni necessarie. La parte più significativa di questa verifica è quindi quella relativa alla formazione delle combinazioni. Si rimanda quindi al capitolo Combinazioni per maggiori informazioni.

Verifiche della validità dell'ipotesi di impalcato infinitamente rigido

Se vengono rispettate le prescrizioni costruttive indicate dalla normativa (O 4.11.1.5) questa verifica non è necessaria. Si consiglia però sempre di riportare nella relazione di calcolo, per evitare di dover poi precisare, tutte le verifiche richieste e dove queste non debbano essere eseguite il motivo per cui non lo sono, come in questo caso.

Verifiche che l'ipotesi di duttilità sia rispettata

Si assume che siano soddisfatte le prescrizioni di progetto delle membrature strutturali e quindi questa verifica non è necessaria (O 4.11.1.2).

Combinazioni di progetto

Il progetto o la verifica delle membrature strutturali deve avvenire per tutte le combinazioni delle azioni (comunemente dette “di carico”) necessarie che vengono effettuate impiegando le condizioni di carico base.

Nel caso del metodo delle tensioni ammissibili devono essere considerate tutte le combinazioni possibili delle azioni accidentali con le azioni permanenti presenti in tutte le combinazioni tenendo presente che alcune condizioni eccezionali (vento, sisma) possono essere considerate non contemporaneamente presenti.

Nel caso del metodo degli stati limite le combinazioni sono effettuate secondo criteri probabilistici che prevedono dei moltiplicatori per ogni condizione e per ogni tipo di combinazione.

Per entrambi i metodi, il tipo delle condizioni di carico deve essere definito in modo da poter formare le combinazioni in modo corretto. Le combinazioni di carico vengono formate automaticamente prima del progetto o della verifica. L'operatore può però sia verificare subito a dialogo le combinazioni proposte dal programma sia modificarle e aggiungerne di proprie. Può anche definire un suo insieme di combinazioni.

In EasyWorld si possono effettuare delle combinazioni “permanenti”, che cioè divengono dei blocchi di risultati assolutamente paritetici ai i risultati ottenuti dall’analisi. Ciò per consentire un trattamento uniforme e congruente dei risultati. Le combinazioni invece richieste per progetto e verifica sono combinazioni “volatili” e cioè formate solo all’atto del loro utilizzo. Ciò perché esse sono in genere numerosissime e quindi sarebbe inutile e dispendioso renderle permanenti.

Qui ci soffermeremo sulle combinazioni di normativa dedicate a ottenere le combinazioni degli effetti delle azioni. Tali combinazioni, per nostra scelta progettuale del software, avvengono, con metodi automatici, esclusivamente nei post processor. Questo perché le combinazioni possono essere facilmente centinaia e quindi del tutto ingestibili se non per via automatica e al momento che occorrono per il progetto e per la verifica.

In EasyWorld è stato recentemente applicato un nuovo concetto. È possibile cioè definire un numero illimitato di “tipi di carico” ognuno dei quali, oltre alla tipologia di carico, ha associati dei parametri che verranno usati in tutte le funzioni di combinazione. Quindi, una volta definiti i tipi di carico più comunemente usati (già molti sono definiti per default) sarà molto semplice associare tali tipi alle condizioni di carico in modo che il resto del procedimento sia automatico. Tale associazione può avvenire in qualsiasi momento dell’iter progettuale. È però più comodo farlo alla definizione delle condizioni di carico e cioè già in Nòlian.

Vediamo ora più in dettaglio. Per effettuare le combinazioni degli effetti delle azioni (normalmente e impropriamente dette “combinazioni dei carichi”) la natura della azione deve essere definita. Ad esempio, le combinazioni sono diverse per azioni variabili, sismiche o permanenti. Nel caso poi del metodo semiprobabilistico delle combinazioni previsto dal metodo degli stati limite, vi sono anche due parametri che vanno impiegati: il fattore di sicurezza parziale γ e il moltiplicatore probabilistico ψ . Tali due valori sono quindi associati alla natura del carico dal quale discende l’effetto che si desidera combinare. Pertanto ogni “condizione di carico” dalla quale scaturiscono degli effetti è caratterizzata da una natura dell’azione (sismica, permanente, variabile etc.) e da moltiplicatori opportuni. Al primo avvio del programma sono disponibili un certo numero di tipi ispirati alla normativa sulle costruzioni. Tali tipi possono essere ampliati o modificati. Possono anche essere ripristinati.

Fissa	#	(3) proprio	(3) SOLAIO	(3) ACCI...	(2) proprio	(2) SOLAIO	(2) ACCI...	(1) proprio	(1) SOLAIO	(1) ACCI...
<input type="checkbox"/>	1	1.00	0.80	0.80	1.00	0.60	-1.00	1.00	0.60	1.00
<input type="checkbox"/>	2	1.00	0.80	0.80	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	0.30
<input type="checkbox"/>	3	1.00	0.80	0.80	1.00	1.00	-1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	4	1.00	0.80	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	5	1.00	1.00	0.80	1.00	0.60	-1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	6	1.00			1.00		-1.00	1.00		
<input type="checkbox"/>	7	1.00	0.80	0.80	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	1.00
<input type="checkbox"/>	8	1.00	0.80	0.80	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	0.30
<input type="checkbox"/>	9	1.00	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	10	1.00	0.80	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	11	1.00	1.00	0.80	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	0.30
<input type="checkbox"/>	12	1.00			1.00		1.00	1.00		
<input type="checkbox"/>	13	1.00	1.50	1.50	1.00	1.05		1.00	1.05	1.50
<input type="checkbox"/>	14	1.00	1.50	1.50	1.00	1.05		1.00	1.50	1.05
<input type="checkbox"/>	15	1.00	1.50	1.50	1.00	1.50		1.00	1.05	1.05

Le combinazioni formate automaticamente possono essere verificate ed eventualmente modificate. Ciò per i tre tipi di combinazioni impiegati nel progetto e nelle verifiche: “progetto”, “esercizio” o “danno”. Inutile dire che, tra le metodologie di combinazione, vi è anche la possibilità di formare le combinazioni delle azioni sismiche con un contributo percentuale tra le varie azioni assegnando il valore voluto, tipicamente questo valore è 0.3 (30%). Questo è il valore previsto dalla OPCM ma, visto il continuo cambiamento della nostra normativa, questo valore è assegnabile e quindi compatibile con eventuali futuri cambiamenti di normativa.

Notiamo che, se si impiega il metodo delle tensioni ammissibili, la verifica degli spostamenti non ha significato specifico di verifica per lo "stato limite di danno" ma di fatto viene eseguita con modalità analoghe.

Veniamo ora alle più complesse combinazioni semiprobabilistiche degli effetti delle azioni (“carichi”), usate per il metodo degli stati limite sostanzialmente sono strutturate in questa forma convenzionale:

$$F_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_j + \gamma_{Q,f} Q_f + \sum_{i=1n, i \neq f} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_i$$

Si noti che vi sono due tipi di coefficienti con significato diverso: coefficienti di sicurezza parziali γ e coefficienti probabilistici di combinazione ψ .

Sono in genere indicati con la lettera G i carichi permanenti, ivi compresi quelli da precompressione e da distorsioni, e con Q i carichi variabili. Per ora non parliamo di effetti delle azioni sismiche.

Notiamo che quanto abbiamo esposto è nella forma più generale, proposta dagli Eurocodici, dove i coefficienti di sicurezza dei carichi variabili possono essere diversi per ogni tipo di azione variabile, cosa che appare piuttosto logi-

ca. In alcune normative invece (a esempio il DM 96) si ha un coefficiente di sicurezza parziale unico per tutte le azioni variabili e quindi l'espressione relativa alla combinazione delle azioni variabili si semplifica in quanto si può mettere a fattore comune il coefficiente di sicurezza comune a tutti i carichi variabili. Va da sé che, assegnando un unico coefficiente di sicurezza eguale per tutti i carichi variabili, la più generale espressione degli Eurocodici comprende anche quella più semplice.

Notiamo che i coefficienti probabilistici di combinazione ψ riguardano solo le condizioni variabili in quanto ne indicano la probabilità di essere presenti. Generalmente vi sono tre diversi coefficienti per ogni azione variabile distinto per pedice 0, 1 e 2. Il coefficiente ψ_0 viene usato per i valori in combinazione, gli altri due ψ_1 e ψ_2 , nelle combinazioni di valori rispettivamente frequenti e quasi permanenti. Questi due ultimi fattori quindi vengono impiegati nelle combinazioni allo stato limite di esercizio.

L'unica nota significativa alla formula che abbiamo riportato, per altro molto semplice, riguarda la combinazione delle azioni variabili che prevede che si consideri una azione variabile con la certezza del suo contributo (valore di probabilità unitario) sommata a tutte le altre affette dai loro rispettivi fattori probabilistici.

Per le combinazioni delle azioni sismiche (con le altre azioni) il concetto è lo stesso. Si considera l'azione sismica sempre presente (come fosse un carico permanente ma non certo per la durata temporale) e si valuta la concomitanza probabilistica delle azioni variabili esattamente come detto sopra per le azioni non sismiche. Ovviamente in questo caso i carichi permanenti si considerano sempre agente.

Va però notato che i fattori di sicurezza parziali per le azioni sia permanenti che variabili nelle combinazioni delle azioni sismiche possono essere diversi dai fattori per le combinazioni non sismiche. E così anche il coefficiente ψ_2 che viene usato sia nelle combinazioni sismiche al posto di ψ_0 , può essere diverso, e in alcune normative lo è, dal coefficiente ψ_2 riportato nelle tabelle per le combinazioni quasi-permanenti.

Si noti che qualora vi fossero azioni variabili che non sono mai contemporanee a quelle sismiche la loro probabilità è zero e quindi assegnando un valore nullo sia al fattore di sicurezza che al fattore di probabilità per combinazione sismica, tale azione variabile non sarà mai considerata nella combinazione sismica.

Notiamo che la normativa, per i carichi permanenti, richiede l'uso di due fattori di sicurezza parziale, uno in caso l'azione vada a favore della sicurezza, l'altro qualora vada a sfavore. Poiché è pressoché impossibile determinare a priori quale delle due condizioni si verifichi, è uso comune impiegare il solo fattore di sicurezza per la condizione sfavorevole. Ciò non è sempre esatto. Ad esempio nel caso della azione assiale nei pilastri, essa potrebbe essere a favore di sicurezza se ha valori maggiori. Quindi è opportuno fare una combinazione anche con i fattori previsti per la situazione a favore di sicurezza. Per le strutture edili il fattore di sicurezza per situazione favorevole è unitario per le azioni permanenti e nullo per quelle variabili. In caso invece di spinta delle terre o di precompressione tale valore è diverso dall'unità. Ma poiché questi casi esorbitano dai limiti applicativi dei programmi di EasyWorld, si assumono sempre in automatico i valori predetti facilitando in tal modo l'assegnazione dei parametri da parte dell'operatore.

I fattori di sicurezza parziali per le condizioni favorevoli sono sempre assunti 1 per le azioni permanenti e 0 per le azioni variabili. I carichi variabili agiscono anche nelle combinazioni con l'azione sismica almeno che non si mettano a zero sia il fattore di sicurezza parziale che il valore di ψ_2 sismico. Il tipo di azione detto "variabile non contemporaneo" non viene mai considerato nella stessa combinazioni con gli altri tipi definiti nello stesso modo. Un uso tipico è quello dell'azione del vento. Le azioni di tipo "sismico" non appaiono mai più di una volta nella stessa combinazione. È il caso tipico di azioni sismiche in più direzioni. Si ricorda che le combinazioni effettuate in automatico possono essere visualizzate nell'apposito dialogo dove si possono anche assegnare altre combinazioni come voluto.

Le azioni sismiche possono essere tra loro combinate con due metodi:

- Considerandole agenti separatamente
- Combinandole una a pieno valore e le altre secondo un moltiplicatore con alternanza di segni

Le azioni sismiche valutate allo stato limite ultimo (SLU) e di danno (SLD) sono entrambe azioni sismiche con medesimi criteri di formazione delle combinazioni ma, essendo deputate a scopi diversi, non verranno mai impiegate simultaneamente. Pertanto esse sono distinte tramite l'assegnazioni di "tipi di carico" diversi e opportunamente configurati.

Infine, le combinazioni di esercizio sono del tutto analoghe a quelle di pro-

getto. I fattori di combinazione sono quelli assegnati nella definizione dei tipi di carico. Le combinazioni usano inoltre le stessi Tipi di carico associati alle condizioni di carico.

Vengono considerate solo le azioni definite come “permanenti” e “variabili” sia contemporanee che non contemporanee. Queste ultime però vengono sempre considerate come agenti contemporaneamente alle altre senza distinzione.

La combinazione avviene come segue:

$$F_d = 1.0P + \alpha Q_1 + \sum_{i=2,n} \beta Q_i$$

dove P sono i valori delle condizioni permanenti e Q i valori di quelle variabili. I valori α e β vengono scelti come segue secondo il tipo di combinazione:

Tipo di combinazione:	α	β
<i>Rara</i>	1	ψ_0
<i>Frequente</i>	ψ_1	ψ_2
<i>Quasi permanente</i>	ψ_2	ψ_2

Il tipo di combinazione richiesta per le verifiche è in funzione della aggressività dell'ambiente. Sia tale qualificazione sia il tipo di verifiche richieste sono assegnabili nel come variabili “di ambiente”. Anche le combinazioni di esercizio possono essere assegnate o modificate a dialogo.

Riepilogo dei passi per l'analisi

- Definire il modello
- Assegnare le masse eventualmente tramite trasformazione automatica dai carichi
- Generare gli spettri di risposta
- Assegnare spettri di risposta e altri parametri di analisi dinamica
- Generare la condizione per la torsione equivalente alla distribuzione accidentale delle masse
- Effettuare l'analisi
- Verificare gli spostamenti relativi allo SLD

Fine della fase di analisi. Iniziare la fase di progetto delle armature con EasyBeam. Prima della progettazione in EasyBeam, formare le combinazioni delle azioni e assegnare i tipi e i coefficienti per le combinazioni di progetto che verranno formate in automatico.

APPROFONDIMENTI SULLA NORMATIVA

1. Sull'analisi "pushover"

L'analisi pushover si basa su un requisito fondamentale e cioè che si usi un programma di calcolo e che tale programma di calcolo sia in grado di gestire elementi finiti (altre tecniche numeriche ci lascerebbero davvero perplessi) a comportamento non lineare estremamente accurato e dotato di procedure di soluzione di sistemi non lineari sufficientemente raffinati da consentire di individuare la resistenza ultima. La normativa si dilunga sulla descrizione di una procedura banale e nota a tutti gli addetti ai lavori ma dimentica di suggerire qualsiasi forma di controllo su questi aspetti basilari della procedura dando così l'impressione ai non addetti ai lavori che il problema sia banale e abbia solo l'aspetto della evasione di una qualsiasi pratica burocratica.

Dalla nostra esperienza, i risultati di un'analisi di questo tipo sono sicuramente utili ma devono essere usati da esperti e con la possibilità di fare analisi con calma controllando i risultati con varie parametrizzazioni. Questo metodo delicato non può essere spacciato come un adempimento burocratico.

Nòlian esegue un'analisi pushover in quanto può monitorare la funzione forza-spostamenti di strutture a comportamento non lineare impiegando tecniche di controllo di spostamento, di carico, di lunghezza d'arco. Gli elementi finiti di Nòlian vanno dalla trave a fibre al guscio specializzato per il calcestruzzo. Sono procedure che vengono usate da nostri utenti prestigiosi (ENEL, Sogin, ENEA) e quindi validati da un uso molto attento.

Però, proprio da queste esperienze, non riteniamo che se ne debba incoraggiare un uso meno consapevole. Poiché però il diagramma forza-spostamento è la parte più sofisticata e delicata del problema mentre i successivi sviluppi e le elaborazioni proposte dalla normativa sono assolutamente banali. Tale funzione è implementata in Nòlian ma allo stato attuale, per i motivi anzidetti, non è stata rilasciata. Allo stato attuale non ne raccomandiamo quindi in ogni caso l'uso a chi non sia esperto e non debba affrontare problemi progettuali che richiedano e giustificino questo approfondimento che riteniamo, per altro, non indispensabile ai fini di un progetto strutturale non specialistico.

2. Distribuzione accidentale delle masse

Questo requisito appare per la prima volta nell'Eurocodice 8 e viene ripreso dall'Ordinanza. Vi sono due metodi per adempiere a questo requisito: analizzare la struttura per più distribuzioni delle masse (tipicamente 4) oppure analizzare il comportamento della struttura per una azione torsionale che sia equivalente a quella ottenuta decentrando il sistema di masse. Il primo meto-

do richiede più analisi dinamiche e quindi un onere computazionale piuttosto significativo per strutture importanti. In più, la redistribuzione delle masse porta di fatto alla generazione di più modelli di calcolo, cosa piuttosto scomoda da gestire. Inoltre esiste un aspetto spesso sottovalutato. Cioè se è vero che gli oneri computazionali imposti dalla normativa vengono affidati al software, è però anche indispensabile che il progettista abbia un controllo sui risultati. Se si ha un solo quadro di analisi dinamica, con un solo set di modi di vibrare, il progettista può fare chiare valutazioni e capire bene il comportamento della struttura esaminando i risultati con chiarezza e semplicità. Se invece si hanno più modelli da generare e dei quali verificare i risultati, le possibilità critiche del progettista si riducono. Quindi l'uso della azione torsionale ci pare più efficace in quanto divide bene i due ambiti e le due esigenze. In Nòlian un apposito plug-in consente di "spostare" il baricentro di massa automaticamente e quindi di usare il metodo di decentramento delle masse. In questo percorso useremo il metodo della azione torsionale detto anche del "torcente di piano". Chi intendesse usare il metodo della redistribuzione del sistema di masse, nel manuale del plug-in troverà anche informazioni metodologiche e teoriche. Si ricorda che le azioni derivanti da più modelli di calcolo si possono trattare simultaneamente tramite la tecnologia MultiStage. In questo percorso consigliamo di impiegare una sola azione torcente e non una per ognuna delle due direzioni del sisma. Le forze di piano sono le stesse indipendentemente dalla direzione della accelerazione ma cambia l'eccentricità di applicazione della risultante di piano che dipende dalle dimensioni dell'edificio. Il nostro consiglio è quello di usare una sola azione torcente e cioè quella dovuta alla eccentricità massima tra le due direzioni. Ciò va a favore di sicurezza e non penalizza eccessivamente i risultati portando al grande vantaggio di avere, nella combinazioni delle azioni dinamiche, solo 8 condizioni (da applicare anche con segno invertito). 8 condizioni non sono poche ma questa normativa porta a un proliferare di condizioni veramente impressionante che anche se gestita in modo automatico, appesantisce vistosamente la gestione del progetto.

3. Combinazione delle azioni sismiche

Per quanto riguarda la combinazione delle azioni sismiche, la normativa la tratta in un paragrafo a parte generando, a nostro avviso, qualche confusione. Le combinazioni delle azioni attengono ad un unico concetto e non vi è differenza tra la combinazioni delle azioni sismiche dalle altre azioni se non nei moltiplicatori prescritti. Le combinazioni sono sempre combinazioni lineari. L'operazione è la stessa e serve a formare un insieme di azioni combinate da usare per il progetto o le verifiche. Quello che questa normativa ha molto complicato è l'introduzione della combinazione in "percentuale" tra le azioni

sismiche in più direzioni. Mentre con le precedenti normative si avevano due azioni sismiche indipendenti ora queste due azioni sismiche vanno combinate in modo da dare luogo a 4 combinazioni che poi devono a loro volta entrare nelle combinazioni di progetto. Se a questo aggiungiamo le azioni derivanti dalla esigenza di tener conto della distribuzione accidentale delle masse, il numero di combinazioni diventa elevatissimo. Poiché poi la stessa Ordinanza aveva prima previsto sia il metodo percentuale che quello SRSS e alcune normative non prevedono la combinazione percentuale, sarebbe limitativo accettare la combinazione percentuale come l'unica possibile (l'uso di altre normative verrebbe tagliato fuori). In EasyWorld ogni programma ha la possibilità di generare delle combinazioni nel modo voluto da poter poi usare nella combinazione lineare standard di normativa usata dai programmi per formare le combinazioni di progetto. Metodo di combinazioni, cioè, usato anche per la combinazione di condizioni non dinamiche.

Le azioni sismiche prima di essere combinate in maniera standard con le altre azioni, vanno combinate tra loro relativamente alle diverse direzioni. Infatti la normativa prevede che le azioni nelle due direzioni vengano combinate con la regola della “percentuale” (O 4.6). Inoltre, se si usa una condizione di carico statica a cui è affidata l'azione torcente dovuta alla distribuzione accidentale delle masse, questa va combinata con le azioni sismiche. In questo percorso abbiamo usato un'unica condizione torsionale. Se abbiamo le due condizioni dinamiche per le due direzioni che chiameremo D1 e D2 e T la condizione torcente, avremo le seguenti 8 condizioni.

D1 + 0.3 D2 + T
 D1 + 0.3 D2 - T
 D1 - 0.3 D2 + T
 D1 - 0.3 D2 - T
 0.3 D1 + D2 + T
 0.3 D1 + D2 - T
 0.3 D1 - D2 + T
 0.3 D1 - D2 - T

4. Testo unico e spettro limite di danno

Il testo unico riporta una formula algebricamente diversa da quella della OPCM dello spettro elastico e dello spettro SLD sostanzialmente portando fuori parentesi il fattore 2.5. Inoltre introduce il concetto di accelerazione agd. Ma al punto 3.2.11 pone, per situazioni per le quali agd non si differenzia accertato, sostanzialmente $agd = ag / 2.5$ tornando allo spettro SLD dell'OPCM quindi la diversità è, a nostro avviso, solo apparente.

APPROFONDIMENTI SUL SOFTWARE

1. Perché Nòlian salva gli spettri di risposta su file

Nòlian usa gli spettri di risposta affidati a un file di testo. Ciò consente di impiegare file comunque generati, completamente e facilmente accessibili all'utilizzatore e che potrebbero essere generati anche tramite altri programmi (a esempio Excell) o modificati agevolmente a mano. Quando è cambiata la normativa, Nòlian non è stato modificato proprio perché è aperto e non scritto su una normativa specifica. Anche gli spettri avrebbero potuto essere prodotti dall'utilizzatore secondo la nuova normativa. Il plug-in per la generazione dei file di spettro ha solo facilitato il compito. Il programma poteva essere comunque impiegato. Questo concetto di progettazione del software ne consente l'uso virtualmente con ogni normativa e il mantenimento del valore e della validità nel tempo garantendo l'investimento.

2. Strutture a smorzamento misto

Per la combinazione CQC (complete quadratic combination) è necessario calcolare gli smorzamenti modali. Per il calcolo degli smorzamenti modali il programma opera come segue. Se gli smorzamenti associati agli elementi sono tutti uguali, anche gli smorzamenti modali sono uguali per ogni nodo, quindi viene semplicemente assegnato il valore comune come smorzamento modale. Se invece gli smorzamenti associati agli elementi sono diversi, viene calcolato lo smorzamento modale come smorzamento di Rayleigh con pesi sulle masse o sulle rigidezze, come da parametri assegnabili. Lo smorzamento di Rayleigh (o proporzionale) è dato da:

$$[C] = c1 [K]_{dgl} + c2 [M]$$

dove $c1$ e $c2$ sono i due parametri assegnabili a dialogo. Come default si ha $c1=1.0$ e $c2=0.0$ così che lo smorzamento è proporzionale alle rigidezze.

Questo calcolo viene eseguito solo se si dispone del metodo di fattorizzazione "Sparse". Se non se ne dispone, l'utente viene avvisato della impossibilità del calcolo e viene adottato come smorzamento modale il valore di smorzamento di default. Gli smorzamenti modali vengono riportati sulle stampe.

3. Gestione delle combinazioni in Nòlian

Il concetto di progettazione del software di EasyWorld è quello di dividere gli ambiti di competenze. Una cosa è l'analisi, una cosa è il progetto delle armature. Questo sia perché in questo modo l'attenzione dell'utilizzatore può essere meglio concentrata sul problema specifico senza essere distratta da comandi del software non pertinenti sia per avere una maggiore "pulizia" sia di interfaccia che di codice.

Le combinazioni dei risultati (dette colloquialmente “combinazioni dei carichi”) possono essere eseguite sia per ottenere tutte le possibili combinazioni prescritte dalla normativa per il progetto delle membrature strutturali che per altri scopi. Inoltre alcune combinazioni sono previste dalla normativa per combinare le azioni sismiche relative a diverse direzioni dell’azione sismica. Tutte le combinazioni possono essere formate sia in Nòlian che nei post processori. Ovviamente le combinazioni di progetto si formano più agevolmente nei post processori e poiché tali combinazioni danno in genere luogo a moltissime nuove condizioni, è del tutto sconsigliabile, per una questione di praticità, effettuarle in Nòlian e poi trasferirle nei postprocessori.

Osservazioni sulle combinazioni

La nuova normativa ha fatto nascere l’interesse sul metodo semiprobabilistico agli stati limite e quindi sui metodi semiprobabilistici di combinazione delle azioni. Il problema delle combinazioni esiste anche con il metodo delle tensioni ammissibili ma poiché la nuova normativa ha spinto molti ad approfondire l’argomento, può sembrare del tutto nuovo. Oltretutto il metodo degli stati limite fa crescere in modo quasi ingovernabile il numero di combinazioni di progetto richieste per cui l’onore sia computazionale che di controllo cresce enormemente.

È necessaria un po’ di chiarezza. Molti credono che per il progetto degli elementi strutturali esista la possibilità di trovare la “condizione di carico peggiore”. Altri credono sia possibile un involucro a livello di azioni. L’involuppo è possibile, nella verifica o nel progetto di elementi strutturali, solo a livello di “effetti” (a esempio tensioni) in quanto essi sono indotti dal completo stato di sforzo.

Pertanto non è possibile eseguire delle operazioni “a monte” del progetto per semplificare lo stato delle azioni da considerare.

Anzi. Vanno invece considerate TUTTE le combinazioni delle azioni previste, e queste possono essere centinaia per cui anche la possibilità di generare combinazioni a monte e poi usare queste “manualmente” per il progetto, è poco pratico se non illusorio. Per questo motivo il compito deve essere automatizzato e deve esserlo a livello di PROGETTO degli elementi strutturali e non a monte di questo.

Questo è il motivo per cui in Nòlian, programma di analisi, esistono metodi di combinazione e involucro ma soprattutto destinati al controllo dei risulta-

ti dell'analisi e non al progetto degli elementi strutturali. Le combinazioni necessarie al progetto degli elementi strutturali è demandato ai post-processor di Nòlian. Questa è la procedura più logica e meno gravosa dal punto di vista computazionale. Se si volessero formare le centinaia di combinazioni di progetto in Nòlian si avrebbero file giganteschi con tempi di gestione lunghi e tutto questo inutilmente quando le combinazioni di progetto servono appunto solo per il PROGETTO e nel momento del progetto e anche con modalità diverse (a esempio tra stati limite di servizio e ultimi) quindi non è necessario siano sempre disponibili ma possono essere “volatili”, cioè formate solo al momento in cui sono necessarie per il progetto.

Se si avesse la necessità di progettare elementi strutturali non progettabili con programmi di EasyWorld, a esempio un palo di fondazione, neanche l'involuppo a monte delle azioni porta a un'unica azione involuppo, in quanto lo stato di sforzo è combinato (a esempio presso-flessione) e quindi i massimi di una componente non garantiscono di essere la condizione peggiore di progetto. Nòlian consente di involuppare per massimi di varie componenti e quindi avere più azioni base involupate per massimi di diverse componenti delle azioni.

In ogni caso le combinazioni di progetto sono sempre molte e la cosa più ragionevole, salvo casi molto semplici, è di farle gestire in automatico dal programma deputato al progetto del particolare elemento strutturale in quanto, come si è detto, avere moltissime combinazioni “a monte” non farebbe altro che complicare la gestione “manuale” del progetto dell'elemento strutturale.

Fissa	#	P	Q1	Q2	E
<input type="checkbox"/>	1	1.35000	1.50000	1.05000	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	1.00000	0.30000	0.60000	1.00000
<input type="checkbox"/>	5	1.00000	0.30000	0.60000	-1.00000

Combinazioni automatiche

4. L'uso degli “script”

Le esigenze di un progetto ingegneristico non sono riconducibili a procedure standard in quanto le variabili in gioco sono moltissime. Vi sono però alcune procedure che, entro certi limiti applicativi, sono abbastanza ripetitive e standardizzabili. Il processo di analisi di un modello già costruito, a esempio, può essere una di queste. Nei programmi della Softing si ha, per filosofia progettuale, sempre la massima flessibilità di impiego. È una caratteristica dei nostri programmi che li fanno appunto preferire ai progettisti esperti e con una gamma di attività professionali piuttosto vasta. Però, come si è visto in queste pagine, certe assegnazioni e certe azioni sono piuttosto banali e codificabili (come appunto abbiamo fatto in questo testo) per tanto è importantissimo il fatto che in Nòlian via sia un sistema di “scripting” e cioè il supporto a un semplice ma potentissimo linguaggio di programmazione in grado di interagire con l'operatore e di condurre in automatico operazioni anche molto complesse con Nòlian. Molti nostri clienti scrivono dei loro script anche piuttosto complessi per soddisfare in automatico loro particolari esigenze abbattendo così i costi di progetto per quelle specifiche attività. Questa è davvero “una marcia in più” che vi offre Nòlian. Vi sono però alcuni script resti disponibili con il programma e rilasciati periodicamente sul nostro sito che assolvono alle operazioni più ripetitive. È stato redatto uno script che esegue la gran parte delle impostazioni qui descritte e meglio dettagliate nel successivo Percorso 6.

Osservazioni sulla applicazione della normativa

Questa normativa (ci riferiamo all'OPCM) recepisce, attraverso la sua chiara ispirazione agli Eurocodici, i criteri progettuali in zona sismica che sono ormai comunemente accettati. Intendiamo, in sintesi, il ricorso alla dissipazione della energia sismica per deformazione duttile. Questi criteri non solo sono molto efficaci ma hanno basi teoriche piuttosto rilevanti per cui, di fatto, questa normativa costituisce un grosso passo avanti.

Purtroppo però il ricorso a riserve duttili sposta molto in avanti il problema del calcolo e quindi sostanzialmente rende obbligatorio l'uso di elaboratori elettronici. La normativa però non è scritta nella luce di un simile impiego anche per una sorta di “snobbismo” informatico molto diffuso soprattutto in certa nostrana “intelligenza”.

La normativa italiana è però cogente e non detta solo dei criteri progettuali e non indica solo dei minimi da rispettare per garantire ai cittadini un accetta-

bile livello di sicurezza. Quindi gli estensori hanno anche indicato dei “metodi” di calcolo (analisi “pushover”, valutazione approssimata di meccanismi di collasso etc.) indicandone le modalità di applicazione a modelli strutturali semplificati e sorpassati. Ne deriva un a sorta di “obbligo” per legge a un ritorno al passato. Cioè un normativa buona nei principi (peraltro notissimi e ispirati agli Eurocodici) diviene pessima per le conseguenze che comporterà.

Certe richieste della normativa, a esempio, si scontrano pesantemente con la generalità, l'eleganza, la potenza del metodo degli elementi finiti (esiste una definizione scientifica e algoritmica di “maschio murario?”). Chi si è formato o, peggio, si sta formando ora, una mentalità di progetto automatico basata su basi matematiche solide, sarà distratto se non demotivato dagli approcci piuttosto grossolani, e obbligatori, proposti da questa normativa. Questa normativa infatti sembra pensata su modelli di calcolo e modelli mentali degli anni '80 ignorando gli enormi progressi che sono stati fatti in questo campo. Si tenga sempre presente che questa normativa si riferisce sempre solo a strutture a impalcati rigidi non dando indicazioni ove questa ipotesi non sia applicabile, come per strutture non strettamente abitative, e comunque costringendo a ricondurre tutto a modelli abbastanza semplificati e superati. I continui riferimenti ai valori di “piano” non hanno senso se non si assume un impalcato infinitamente rigido e un modello di calcolo molto ispirato allo “shear type”.

Francamente, come impostazione di fondo di una normativa, ci pare molto limitativa e poco formativa. Tutto ciò senza parlare di una conseguenza non da poco e cioè che anche la ricerca di chi fa software (in Italia questa ricerca le fanno le micro aziende che producono software e non l'Università di Stato) si sposta per forza da ricerche su procedure per un progetto più sicuro, all'automazione di verifiche di dubbia utilità e di impostazione discutibile. Le stesse verifiche imposte e proposte si sarebbero potute ottenere, e con anche maggiori livelli di sicurezza, con l'uso di procedure automatiche in gran parte già esistenti o perfettamente sviluppabili. Si pensi che in California, un paese certo non a bassa sismicità e certo non arretrato sotto il profilo informatico, tutte le più discutibili procedure di questa non sono previste e, soprattutto, non sono “imposte”.

PERCORSO 2

Progetto di armature di struttura intelaiata in calcestruzzo armato secondo Ordinanza 3274 e s.m.

Oggetto del percorso

Questo percorso riguarda il progetto delle armature di una struttura intelaiata già analizzata con Nòlian.

NOTA: Il Percorso di analisi è affidato al testo del “Percorso 1”.

I programmi impiegati sono:

- EasyBeam

Progetto e verifica

Le normative parlano sempre della condizione che sia “verificato” l’elemento strutturale per determinati requisiti. Il termine “progetto” da molti viene inteso come “dimensionamento” della sezione. Ovviamente affinché un elemento in calcestruzzo armato possa essere “verificato” deve prima essere predisposta l’armatura necessaria. Quindi si parlerà in queste note di “progetto” (intendendo “delle armature”) più che di verifica. Resta infatti inteso che il progetto è eseguito nel rispetto delle condizioni di resistenza e di normativa. Eseguito il progetto in tali condizioni esso è quindi anche di conseguenza “verificato”. Tanto è vero che molte procedure di calcolo di EasyBeam sono di fatto delle procedure iterative di verifica–modifica fino ad ottenere che la verifica sia soddisfatta. Quindi i termini sono equivalenti. Se la norma parla, a esempio, di “Verifica al taglio” la preoccupazione del programma sarà quelle di eseguire un “progetto al taglio” secondo i requisiti che la “verifica” richiede. Per dovere di completezza, ricordiamo che EasyBeam esegue, sia in fase di stampa che su interrogazione dell’operatore, delle vere “verifiche” sulle sezioni già progettate. Ma resta inteso che in questa esposizione ove la normativa parla di “verifica” si intenderanno le funzioni del programma per eseguire il progetto in modo tale che tale verifica sia soddisfatta.

Procedure a responsabilità

EasyBeam è forse uno dei più flessibili e potenti programmi di progetto delle armature. Non è “procedurale” come non lo è tutto EasyWorld e cioè non prefigura un percorso predefinito. Questo sconcerta alcuni progettisti che

vorrebbero fare più volentieri una progettazione “guidata”. Va però riconosciuto che il progetto strutturale non è così facilmente inscatolabile in “istruzioni per l’uso” predefinite. Vi sono due aspetti da considerare. Il primo è che vi sono dei progetti complessi e che impiegano tecniche avanzate che richiedono un maggior controllo da parte del progettista, una maggiore accuratezza di controllo, la soluzione di problemi specifici. E nostri clienti (almeno il 15%) sono proprio grandi studi o enti che hanno a che fare con progettazioni complesse e specifiche progettuali che esorbitano quelle di normativa (ENEL, Sogin, FFSS, Servizio Nazionale Dighe etc.). La seconda è che in uno studio professionale, anche se non si affrontano progettazioni complesse, vi sono sempre dei problemi inconsueti che richiedono comunque una soluzione.

Quindi chi si chiede perché deve “configurare” EasyBeam e perché EasyBeam ha tanti parametri di configurazione deve capire che questo è il motivo. Ma questo non deve spaventare chi non ha esigenze avanzate. La configurazione di EasyBeam è molto semplice e nel seguito la descriveremo in dettaglio. Si deve ricordare sempre che la configurabilità dà la tranquillità di poter uscire dalle situazioni più disparate e difficili. Anche le situazioni che il programma non è progettato esplicitamente per gestire, operando con le opzioni di progetto, possono sempre avere una soluzione, magari poi migliorabile da voi, ma una risposta, con tanta libertà di azione, si ottiene sempre con EasyBeam. EasyBeam è un programma per il progetto professionale.

I temi del nuovo progetto antisismico

Richiamiamo qui i temi del nuovo progetto antisismico. Tratteremo in seguito anche quelli non relativi strettamente al progetto antisismico, ma qui diamo la precedenza ai primi perché meno noti. Li esporremo in modo più vicino alle azioni che il progettista deve compiere che non alla organizzazione nella normativa che ha logica diversa. Li sintetizziamo come segue contrassegnandoli con una lettera per i riferimenti successivi in questo testo.

Queste prescrizioni sono quasi tutte richieste solo se si progetta in “alta duttilità” quindi precisiamo solo quando vanno applicate anche in bassa duttilità, senza questa indicazione, si intende che in bassa duttilità NON vanno applicate.

Per la nomenclatura abbiamo usato un carattere che indica il tipo di prescrizione, seguito da un numero progressivo.

P	procedura
A	assegnazione di parametro o di opzione
W	avviso di inammissibilità (warning)
D	prescrizioni per la disposizione delle armature

Limiti dimensionali

Per le dimensioni delle sezioni delle travi (O 5.5.2.1), dei pilastri (O 5.5.3.1), delle pareti (O 5.5.5.1) né EasyBeam né Nòlian eseguono alcun controllo. Non riteniamo che un programma debba limitare le scelte del progettista. Vi sono elementi non strutturali e casi, i più disparati, che non possono essere vincolati da un programma. I limiti dimensionali degli elementi strutturali sono così banali, così ovii, così chiari e così pochi che non ci pare necessaria alcuna automazione di controllo sulle scelte consapevoli del progettista. Il progettista si ritiene sia in grado di dimensionare la struttura nel modo più opportuno e consapevole senza dover affidare a un programma la gestione delle proprie scelte e delle proprie “distrazioni”. Quindi in EasyBeam e in Nòlian non vi sono, deliberatamente, scientemente, vincoli e controlli su queste assegnazioni.

Travi progetto flessione

Nessuna prescrizione particolare.

Travi progetto a taglio

P1 Nelle azioni di progetto si deve considerare delle azioni atte ad evitare meccanismi inelastici dovuti al taglio (O 5.5.1.1).

[Vedi anche “*Approfondimenti sul software*”: **3. Progetto a taglio per azioni sismiche**]

A1 Non si deve considerare il contributo del calcestruzzo al taglio

W1 Vanno previste armature diagonali se il taglio supera certi valori (O. 5.4.1.2)

W2 Esiste un valore limite di taglio oltre il quale il progetto non è ammesso (O. 5.4.1.2)

Pilastri progetto a flessione

P2 Per non avere il cedimento del pilastro prima della trave si deve attuare la nota “gerarchia delle resistenze” per il rispetto del “rapporto di resistenza” e quindi nel progetto del pilastro si devono conoscere i momenti resistenti delle travi concorrenti che determinano nuove azioni di progetto. (O 5.4.2).

[Vedi anche “*Approfondimenti sul software*”: **1. Progetto gerarchico**]

Pilastri progetto a taglio

P1 Si deve considerare l'azione atta evitare i meccanismi anelatici. Questa prescrizione è identica a quella delle travi (P1) solo che, ovviamente, non

agiscono carichi di gravità in campata (O 5.4.2.1). La normativa ne dà una diversa formulazione ma la differenza è solo apparente.

[Vedi anche “Approfondimenti sul software”: **3. Progetto a taglio per azioni sismiche**]

Progetto del nodo

P3 Se il nodo non è “confinato” deve esserlo tramite l’adozione di una staffatura specifica. (O 5.4.3). Questo requisito va rispettato anche se si progetta in Bassa Duttilità.

Diaframmi orizzontali

Non sono necessarie verifiche se sono soddisfatti i criteri costruttivi di cui (O 4.11.1.5)

Pareti

P4 Deve essere traslato il momento per assicurare la duttilità della parete (O 5.4.5.1). Questa procedura si applica ai “pilastri-parete” come definiti dalla normativa (O 5.4.5)

[Vedi anche “Approfondimenti sul software”: **2. Progetto della parete-colonna**]

[Vedi anche “Approfondimenti sulla Normativa”: **1. Travi e pareti**]

Fondazioni

P5 Alcune prescrizioni sulle azioni di calcolo

Nuclei a sezione irregolare (Pareti a sezione composta)

P6 La sezione deve essere parzializzata per la verifica e il progetto

Disposizioni armature longitudinali Travi in elevazione (O 5.5.2.2)

D1 Minimo di armatura totale per ogni lato (superiore, inferiore)

D1 Massimo di armatura tesa per ogni lato

D2 Bilanciamento nel tratto vicino al pilastro

D3 Continuità di parte dell’armatura di estremità

D4 Concentrazione delle barre nella parte centrale della sezione

Disposizione armature trasversali Travi in elevazione (O 5.5.2.3)

D5 Infitimento in prossimità del pilastro

Disposizioni armature longitudinali Pilastri (O 5.5.3.2)

D6 Minimo di armatura totale

D6 Massimo di armatura totale

D7 Minima distanza barre

Disposizione armature trasversali Pilastrri (O 5.5.3.3)

D8 Infittimento agli estremi

Disposizione armature longitudinali Travi di fondazione (O 5.5.3.3)

D9 Armatura minima longitudinale

Disposizioni armature pareti-colonna (O 5.5.52)

D10 Minimi di armatura

Combinazioni delle azioni

Poiché le modalità di combinazione dei carichi sono eguali per tutti i post-processor di Nòlian, sono trattate nel Percorso 1 (analisi) al quale si rimanda. Dal punto di vista procedurale, si ricorda che, mentre la configurazione del programma, descritta in seguito, può essere fatta una volta per tutte per la stessa tipologia di struttura, i tipi di carico delle condizioni di carico devono sempre essere assegnate in fase di analisi o nei post-processor.

Uso di più risultati

Una struttura le cui armature siano già state progettate con EasyBeam possono essere verificate o riprogettate con più nuovi risultati ottenuti dall'analisi in Nòlian. Infatti rileggendo il file in Nòlian e aggiungendo carichi, masse o eseguendo altre analisi, si possono avere altri gruppi di risultati senza perdere i dati di EasyBeam. Rientrando in EasyBeam questi nuovi risultati possono essere usati per nuove elaborazioni. A esempio la verifica di una struttura già progettata per una nuova sollecitazione prima non prevista o richiestaci in seguito. Questa possibilità si poteva ottenere con le precedenti versioni di EasyWorld con la funzionalità di “merge degli sforzi”. Ora questa potenzialità è divenuta estremamente più semplice con la tecnologia MultiStage.

Configurazione dei parametri di progetto

Qui descriveremo tutti i parametri di progetto suddivisi per dialoghi di assegnazione e con riferimento ai requisiti sopra esposti.

NOTA: Con asterisco () sono rimate le opzioni del programma da usare per il progetto sismico in alta o bassa duttilità.*

Materiali

Questo dialogo non contiene assegnazioni specifiche per il progetto in zona sismica ma, per completezza, ne vengono descritti i parametri.

The image shows a software dialog box titled "Opzioni di progetto" with a blue header. It has several tabs: "Materiali" (selected), "Progetto", "Minimi", "Staffe", "Fattori", and "Regole".

Unità di misura

Lunghezza: Forza: Pressione:

Resistenza materiali

Resist. cubica calcestruzzo	<input type="text" value="300.000"/>	Resistenza acciaio	<input type="text" value="4400.00"/>
Ammissibile calcestruzzo	<input type="text" value="97.0000"/>	Ammissibile acciaio	<input type="text" value="2200.00"/>

Barre armatura longitudinale

Barra	Diametro	Area	Attivazione	
			Travi	Pilastri
Barra 1	<input type="text" value="ø12"/>	<input type="text" value="1.13097300"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Barra 2	<input type="text" value="ø14"/>	<input type="text" value="1.53938000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Barra 3	<input type="text" value="ø20"/>	<input type="text" value="0.78539816"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Disposizione

Copriferro	<input type="text" value="2.00000"/>	Interferro	<input type="text" value="2.00000"/>
Massima lunghezza	<input type="text" value="1200.00"/>		

OK

Queste assegnazioni sono molto intuitive. Segnaliamo solo le particolarità seguenti:

I nomi delle barre sono liberi in modo da aderire anche ad altre normative (esempio British Standard che non usa il simbolo di diametro). L'area associata al nome può anche più agevolmente essere assegnata tramite il diametro precedendolo dalla lettera "D". Esempio: D1.6. Il diametro deve essere nelle unità di misura correnti.

Le barre possono essere rese disponibili o meno per il progetto delle travi e dei pilastri. Quindi si possono assegnare ma non usare oppure si possono usare diametri diversi tra travi e pilastri. Molti preferiscono usare un unico diametro per i pilastri.

Copriferro e interferro si intendono dall'asse delle barre e non dal contorno esterno come di norma.

La lunghezza massima della barra fa sì che la barra venga interrotta se supera tale lunghezza. Le modalità di interruzione si assegnano nel dialogo cui si accede con un doppio clic sull'icona di taglio barre (forbici).



Le barre vengono tagliate solo agli estremi o in mezzeria. I punti voluti si possono scegliere dal dialogo. Se si attiva l'opzione di controllo tensione NON vengono interrotte le barre in zona tesa. Se non vi sono altre possibilità di taglio, la barra non viene interrotta e il programma ne dà avviso. Se è attiva l'opzione "inversione per travi Winkler" lo schema scelto viene invertito automaticamente nelle travi di fondazione. Se si assegna una lunghezza massima di barra molto elevata (ad esempio 10000 cm) le barre non vengono tagliate.

Dalla resistenza caratteristica dei materiali vengono, dalle normative, desunte tutte le caratteristiche di comportamento dei materiali. A esempio dalla resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo si può ricavare il valore medio della resistenza a trazione per flessione. Quindi questi valori caratteristici, impiegati dal programma nel progetto e nelle verifiche, non sono esposti a dialogo e sono calcolati secondo la normativa dal programma. Questi valori non sono modificati dal OPCM e restano quelli del DM 16 gennaio 1996. Anche l'EC2, che adotta alcuni moltiplicatori leggermente differenti (a esempio 0.3 invece di 0.27 nel calcolo della resistenza a trazione) nel recepimento italiano della norma (DM 16/021/06 par 3.1) sostituisce tale parte del EC2 interamente con quella analoga dello stesso DM. Quindi non vi sono variazioni.

Opzioni di progetto

Metodo

Metodo di calcolo. Si può scegliere tra tensioni ammissibili o stati limite.

Ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio viene calcolata in base alla tensione dell'acciaio

come da normativa. Le assegnazioni in questo dialogo aumentano, mai diminuiscono tale valore. L'opzione "Ancoraggio aumentato 25%" determina un aumento del 25% della lunghezza di ancoraggio calcolata in base alla resistenza nominale dell'acciaio. L'opzione "Lunghezza piegatura" consente di assegnare una voluta lunghezza minima alla parte piegata dell'ancoraggio. L'ancoraggio a singola piegatura evita che, occorrendo una maggiore lunghezza di calcolo di ancoraggio, la barra venga piegata più volte.

Regolarizzazione armatura

Le quantità di armatura necessarie, nella lunghezza della trave, cambiano di sezione in sezione. Per avere una disposizione costruttivamente regolare si deve accettare un certo "spreco" di materiale per ottenere una maggiore uniformazione delle lunghezze. Questi parametri agiscono su tale uniformazione. I parametri normalizzazione=0.5 lunghezza=100 cm danno buone disposizioni. Maggior dettagli sono nel manuale.

Armatura diffusa ()*

Consente di disporre barre lungo il contorno della sezione a una distanza non maggiore di quella indicata. È indispensabile per sezioni di grandi dimensioni dove è richiesta un'armatura di frettaggio con disposizione migliore di quella che si otterrebbe con i minimi di armatura. È obbligatorio nei pilastri (vedi D7).

Opzioni di disposizione

Queste opzioni non sono indispensabili e in genere non vanno attivate in quanto EasyBeam esegue il progetto ottimizzato e non richiede altre indicazioni. Servono solo per ottenere disposizioni particolari.

L'opzione Gruppo barre angolo pilastro determina l'uso di un gruppo di tre barre a distanza di interferro negli angoli del pilastro. È una disposizione spesso usata perché molto efficace. Inoltre facilita la convergenza del metodo iterativo di progetto (messaggio "Terminate iterazioni") quando questo non riesce trovare una soluzione di innesco equilibrata.

L'opzione Simmetria armature forza una disposizione simmetrica: secondo l'asse Y locale nelle travi, Y e Z nei pilastri, radiale nelle sezioni a asimmetria radiale.

Opzioni speciali di progetto

Queste opzioni, richieste da alcune normative, non sono però richieste per il progetto in zona sismica secondo OPCM. Con l'opzione "Eccentricità addizionale" i momenti di progetto vengono incrementati in modo da tenere conto della incertezza del punto di applicazione della forza assiale. L'eccentricità è assunta $h/30$ e comunque non meno di 2.0 cm. Con h la dimensione della sezione nel piano di azione del momento e dalla parte dove il momento viene incrementato in valore assoluto. Attivando l'opzione "Traslazione" il momento di progetto viene incrementato della quantità: $V_{sdu} * a1$ dove $a1 = 0.9 d$, con d altezza utile della sezione e V_{sdu} taglio di calcolo. Tale incremento viene considerato nel dimensionamento a flessione, nella verifica a taglio delle armature longitudinali e nell'ancoraggio.

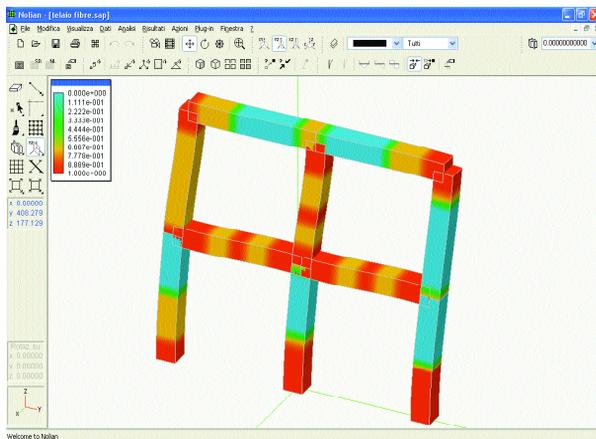
Controllo duttilità ()*

Queste opzioni attivano le procedure previste dalla nuova normativa sismica.

Taglio sismico ()*

Genera le azioni aggiuntive per controllare il cedimento anelastico di travi e pilastri. Vedi P1. Questa procedura richiede che vengano considerate solo le condizioni di carico che diano luogo a carichi di gravità. Questa informazione è legata al tipo di carico assegnato ad ogni condizione per effettuare la combinazione di progetto. L'assegnazione si effettua nello stesso dialogo con il quale si gestiscono i tipi di carico.

[Vedi anche "Approfondimenti sul software": **3. Progetto a taglio per azioni sismiche**]



Progetto delle armature dove si è tenuto conto della gerarchia delle resistenze (armature da EasyBeam, analisi plastica in Nölian con trave a fibre)



Caso reale di collasso per cedimento dei pilastri.

Duttilità parete ()*

Attua la traslazione del momento come indicato dalla normativa in quei pilastri parete che abbiano le caratteristiche previste dalla normativa. Vedi P4.

[Vedi anche "Approfondimenti sulla Normativa": 1. Travi e pareti]

[Vedi anche "Approfondimenti sul software": 2. Progetto della parete-colonna]

Minimi di normativa

The screenshot shows the 'Opzioni di progetto' dialog box with the 'Minimi' tab selected. The title is 'Minimi di armatura longitudinale'. The dialog is organized into several sections:

- Travi:** A table with columns 'Minima' and 'Massima'.

	Minima	Massima
Tesa	0.00000000	0.00780341
Totale	0.00312136	1.00000000

Checkboxes: Considera compressa, Applica ai due lati.
- Pilastri:** A table with columns 'Minima' and 'Massima'.

	Minima	Massima
Tesa	0.00000000	1.00000000
Totale	0.01000000	0.04000000
- Travi fondazione:** A single input field for 'Totale minima' with value 0.00200000.
- Continuità armatura superiore travi:** An input field for 'Moltiplicatore valore di estremità' with value 0.250000.
- Bilanciamento armatura travi:** An input field for 'Rapporto' with value 0.500000 and a dropdown for 'Tratto' set to 'H2'.

At the bottom right, there is a 'Presettaggi' dropdown menu set to 'Default' and an 'OK' button.

Di seguito saranno descritti in dettaglio i minimi regolamentari e le possibilità di EasyBeam di gestire tali limiti. Si avverte però subito che il settaggio immediato di tali limiti secondo i requisiti di normativa si ottiene con la semplice selezione del presettaggio voluto.

Questi minimi e massimi si riferiscono esclusivamente alle armature longitudinali. Sono espressi come rapporti e non come percentuali. Cioè il 2% si deve scrivere 0.02. Si hanno 4 valori per le travi distinti da 4 valori per i pilastri e un valore (minimo totale) per le travi di fondazione perché le normative usano valori diversi per le tre tipologie strutturali. Vi sono minimi e i massimi riferiti alla armatura tesa e totale. Infatti le normative si riferiscono a l'una o all'altra con una certa varietà di casi. Inoltre è possibile riferire i minimi all'intera sezione oppure ai due lati dell'armatura principale. Quest'ultima possibilità è prescritta solo per le travi (anche di fondazione) e si ottiene contrassegnando l'apposito check-box.

Si osserva che OPCM al paragrafo 5.5.2.2 definisce i limiti per le travi come segue:

$$1.4/f_{yk} < \rho < \rho_{comp} + 3.5/f_{yk}.$$

Si intende, anche se non espressamente indicati nella normativa, ma con significato più estensivo, che ρ si riferisca alla armatura tesa. EasyBeam consente di assegnare un minimo sia assoluto che al netto della armatura compressa. Questo per poter coprire le esigenze di ogni normativa o variazione di interpretazione di normativa. Per l'assegnazione del minimo, in questo caso, poiché si assegna sempre un rapporto, si deve eseguire la divisione per f_{yk} prima di assegnare il valore. Vedi D1.

La normativa richiede che una quota parte (0.25) dell'armatura superiore alle estremità delle travi in elevazione sia prolungata per tutta la trave. Il moltiplicatore dei valori di estremità consente di assegnare per tutta la lunghezza della trave l'armatura superiore presente alle estremità moltiplicata per il fattore assegnato. Per OPCM tale fattore è 0.25. Il programma sceglie il maggiore tra i valori di armatura superiore ai due estremi. D2.

Il bilanciamento armatura agisce solo sulle travi in elevazione e consente di avere sezioni con armatura compressa in rapporto minimo con quella tesa come esposto in D3. Per OPCM tale valore è 0.5 e tale bilanciamento deve avvenire in un tratto dal pilastro di lunghezza $2H$ con H altezza della sezione.

Nel dialogo è possibile una assegnazione parametrica che consente di definire la lunghezza in modo molto ampio. Si possono concatenare, dividendoli con una virgola, più criteri espressi come segue:

Hn n volte l'altezza della sezione

Mn n volte la dimensione massima della sezione

mn n volte la dimensione minima della sezione

Ln n che moltiplica la lunghezza della trave. L0.25, ad esempio, è un quarto della luce della trave

Dn n volte il diametro minimo dell'armatura disponibile

n valore numerico senza simbolo

Ad esempio l'assegnazione H2,50 indica il massimo tra 2 volte l'altezza e 50 unità di lunghezza.

Per l'OPCM è sufficiente assegnare H2.

Un'assegnazione di valori di default si può effettuare dal menu in basso a destra scegliendo i valori di default voluti. Se si assegna Default si annullano tutti i limiti (0 per il minimo 1 per il massimo). Oppure si possono scegliere le assegnazioni secondo OPCM A o B (A per alta o B per bassa duttilità).

Staffe

Opzioni di progetto

Materiali Progetto Minimi **Staffe** Fattori Regole

Nome barra Area

Disposizione

Passo massimo

Arrotondamento passo

Ancoraggio (ø)

Speciali

Contributo cls al taglio Tensione minima

Staffe composte

Massima distanza braccia

Massima dist. legature pilastri

Infittimento estremi travi

Lunghezza tratto

Passo Staffe filo pilastro

Infittimento estremi pilastri

Lunghezza tratto

Passo Infittimento Nodo

Presettaggi

OK

Si può definire il nome e l'area della barra usata per le staffe con le stesse modalità viste per l'assegnazione delle barre longitudinali.

I parametri di Disposizione sono molto chiari e consentono di definire la disposizione di base delle staffe.

Per il passo minimo va notato che anche qui si può assegnare tramite parametri. Ad esempio l'assegnazione 33,H0.8 indica che il passo minimo deve essere il minimo tra 33 cm e 0.8 volte l'altezza della sezione.

Il valore “Tensione minima” consente una grande flessibilità oltre ad essere espressamente previsto da alcune normative tra cui le ACI. Questo parametro può essere lasciato nullo se non si hanno esigenze particolari. Notiamo che nel nostro DM 14 settembre 2005, viene prescritta un’armatura trasversale minima nella forma αb , dove b è la larghezza della sezione per la quale si effettua il progetto (generalmente la larghezza minima).

In questo caso, nell’ipotesi consueta del traliccio di Mörsch, si ha la nota relazione: $\tau b/\sigma_{st} = A_{st}$ dove A_{st} è la superficie della sezione delle staffe per unità di lunghezza. Ma se si vuole che $A_{st} = \tau b/\sigma_{st} > \alpha b$, si ha immediatamente $\tau > \alpha \sigma_{st}$. Cioè anche la nostra normativa riconosce un minimo di tensione tangenziale da affidarsi all’armatura ma con una formulazione criptica.

È ovvio che se si vuole adottare questa prescrizione, è sufficiente eseguire l’assegnazione nel dialogo come sopra chiarito. Per maggior chiarezza se si ha $\alpha=0.0015$ e $\sigma_{st}=3800$ kg/cm², la tensione tangenziale minima sarà 5.7 kg/cm².

Tra i parametri “speciali” il coefficiente di “Contributo cls al taglio” è importante in quanto è un requisito di normativa non considerare il contributo del calcestruzzo al taglio se si progetta in alta duttilità. Quindi in questo caso il check-box NON deve essere contrassegnato.

Si possono adottare in automatico staffe a più braccia indicando semplicemente la massima distanza tra le braccia: qualora si trovino sezioni che superino questa quantità, verranno automaticamente inserite staffe a più braccia. Così anche la distanza tra legature delle barre nei pilastri di grandi dimensioni (e nelle pareti-colonna) consente nelle sezioni rettangolari dei pilastri di mettere automaticamente delle legature (“spilli”) che collegano le armature di entrambi i lati di un pilastro a sezione rettangolare.

I campi relativi all’infilamento delle staffe alle estremità di travi e pilastri consentono di assegnare in modo parametrico sia il passo che la lunghezza del tratto. L’assegnazione si esegue concatenando con una virgola più parametri. Verrà scelto, tra tutti i valori indicati, il maggiore per la lunghezza di tratto e il minore per il passo.

I parametri che si possono usare sono i seguenti:

Hn n volte l’altezza della sezione

Mn n volte la dimensione massima della sezione

mn n volte la dimensione minima della sezione

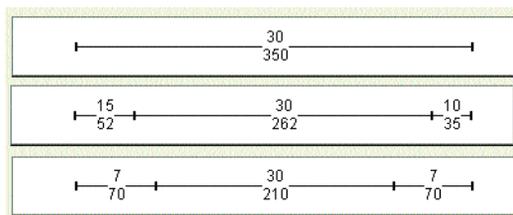
Ln n che moltiplica la lunghezza della trave. L0.25, ad esempio, è un quarto della luce della trave

Dn n volte il diametro minimo dell'armatura disponibile
n valore numerico

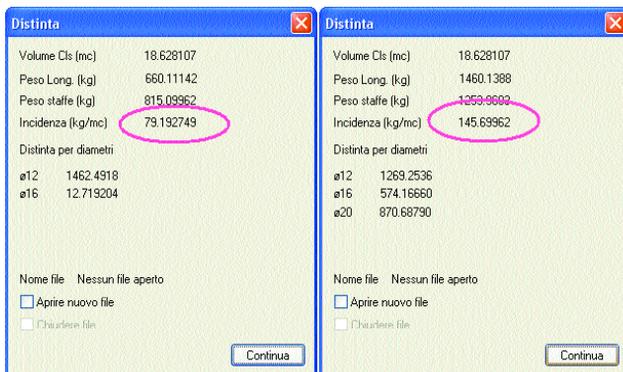
Ad esempio l'assegnazione H0.25, D6, 15, tipica per i pilastri in Alta duttilità, indica il massimo tra un quarto dell'altezza della sezione, 6 volte il diametro della barra minima e 15 unità di lunghezza.

L'opzione "Staffe filo pilastro" consente di mettere le staffe delle travi a filo pilastro senza farle entrare nel nodo. Ove è richiesto l'infittimento delle staffe agli estremi è necessario attivare questa opzione per evitare di progettare un nodo irrealizzabile. Deve essere attiva sia se si progetta in bassa o in alta duttilità.

L'opzione "Infittimento nodo"(*) risponde al requisito di normativa (O 5.4.3) e citato al punto P3. Va rispettato sia per il progetto in Alta che in bassa duttilità. La normativa lo considera, giustamente, come il progetto del nodo. Ma poiché, sotto il profilo attuativo si risolve nel inserire delle staffe aggiuntive orizzontali e quindi nei pilastri, non sarebbe logico sovrapporre le due fasi: prima il progetto della staffatura del pilastro e poi il progetto del nodo con eventuale modifica della stessa. Quindi, come logica, anche procedurale, oltre che di progetto software, si considera questo adempimento come un infittimento delle staffe nel pilastro in corrispondenza del nodo con determinati requisiti. Quindi EasyBeam per ogni estremo del pilastro da progettare, analizza il nodo in cui concorre, ne verifica il confinamento come da normativa e determina la staffatura di nodo e la aggiunge, se necessario, a quella di progetto derivante da altri requisiti normativi. Per questo motivo questa opzione è stata inserita nel dialogo dei parametri di staffatura.



Nella figura, la staffatura in un pilastro ottenuta con tre presettaggi diversi della staffatura. Dall'alto: senza prescrizioni per progetto sismico, in Bassa duttilità e in Alta duttilità. Si vede come il costo della struttura aumenti.



Come è noto, EasyBeam consente anche di avere un immediato computo dei materiali sia a dialogo, come nella figura precedente, sia stampato, con eventuale distinta di taglio delle barre secondo la codifica del British Standard. Usando questa funzione per il computo delle quantità di un piccolo telaio volutamente molto sollecitato, si vede come in Alta duttilità (a destra) l'incidenza di armatura aumento notevolmente rispetto a un progetto senza prescrizioni sismiche (a sinistra).

Le verifiche per i valori di taglio (vedi W1 e W2) vengono sempre eseguite in automatico, non necessitano di alcuna assegnazione. Sono degli "avvisi" gestiti come gli errori ma che non interrompono il progetto dell'elemento in modo che l'operatore possa intervenire come ritiene opportuno. In considerazione del modo in cui la prescrizione è imposta, la verifica viene eseguita solo per sezioni rettangolari nel piano locale y.

Fattori

Il dialogo nella pagina seguente contiene valori generalmente fissi che servono solo a un più completo controllo sui parametri del programma. Per le definizioni si rimanda al manuale.

Queste assegnazioni non sono direttamente legate al progetto in zona sismica. L'unica osservazione è sui due coefficienti di sicurezza parziale del calcestruzzo e dell'acciaio, generalmente indicati con g nella normativa. Il coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo (gc) è ormai assunto abbastanza diffusamente con il valore 1.6. Nell'EC2 è assunto pari a 1.5 ma nell'attuazione italiana come previsto da DM '96 par 3.1, il valore anche di EC2 in Italia è stato assunto 1.6.

I tre valori in fondo al dialogo, relativi ai coefficienti di riduzione di resistenza, sono richiesti solo dalle norme ACI quindi se non si progetta con tali norme devono essere lasciati unitari.

The image shows a software dialog box titled "Opzioni di progetto" with a blue header. It has several tabs: "Materiali", "Progetto", "Minimi", "Staffe", "Fattori" (which is selected), and "Regole". The dialog is divided into two main sections:

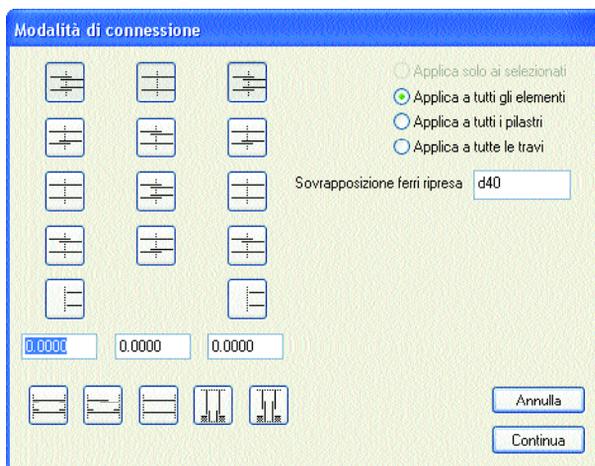
- Coefficienti di sicurezza parziale:** This section contains six input fields with the following values:
 - Fct. Sic. Prz. Cls.: 1.00000
 - Fct. Sic. Prz. Acciaio: 1.15000
 - Eps. Max Compress. Cls.: 0.003500
 - Eps. Max Traz. Acciaio: 0.010000
 - Rapp. Moduli Elasticità: 15.0000
 - Fct. Riduz. Aggiuntiva: 0.850000
- Coefficienti di riduzione di resistenza:** This section contains three input fields, all with the value 1.00000:
 - Riduz. Resist. Fless.: 1.00000
 - Riduz. Resist. Press. Fless.: 1.00000
 - Riduz. Resist. Taglio: 1.00000

An "OK" button is located at the bottom right of the dialog box.

Disposizione delle armature nei pilastri per zona sismica

Lo scopo principale di questo Percorso è quello di dare indicazioni all'operatore per usare il programma in modo corretto e consapevole con le nuove normative sismiche. Quindi tralascieremo volutamente molte funzioni non di poco conto di EasyBeam. Qui vogliamo solo illustrare brevemente un'altra operazione che si può considerare necessaria e cioè la definizione delle modalità di disposizione delle armature nei pilastri soprattutto per soddisfare le esigenze di un buon progetto in zona sismica.

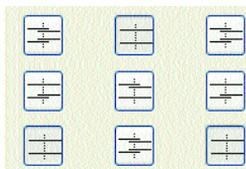
Il dialogo "Modalità di connessione" regola le modalità di interruzione o continuità delle barre longitudinali di armatura sia nelle travi che nei pilastri. Le modalità non sono generali per tutta la struttura, ma possono essere applicate in modo diverso elemento per elemento. La disposizione standard è la interruzione con ancoraggio ai nodi. Questa disposizione è settata come nella figura seguente.



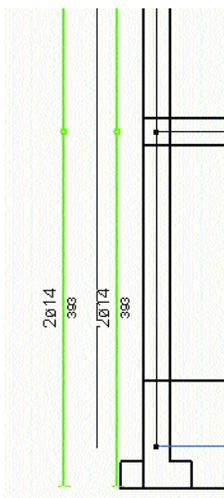
Nel caso dei pilastri la disposizione ha finalità costruttive molto più significative che nelle travi dovendosi prevedere la ripresa di getto al piano e, se lo si ritiene necessario, la interruzione delle barre a metà interpiano per assicurare una maggiore efficacia per azioni sismiche. Quindi esemplificheremo solo con il caso dei pilastri le diverse possibilità di disposizione. La disposizione standard è raffigurata nella figura seguente.



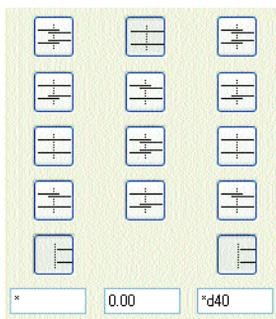
Se si volesse una disposizione con continuità nel nodo, il dialogo andrebbe settato come segue:



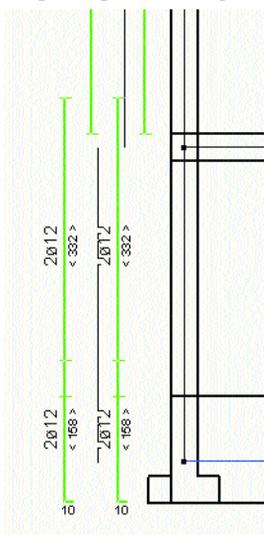
E si otterrebbe la disposizione in figura seguente:



Questa disposizione potrebbe presentare difficoltà costruttive in quanto si dovrebbero posizionare barre che vanno oltre il getto di piano. Una possibilità allora è la seguente:



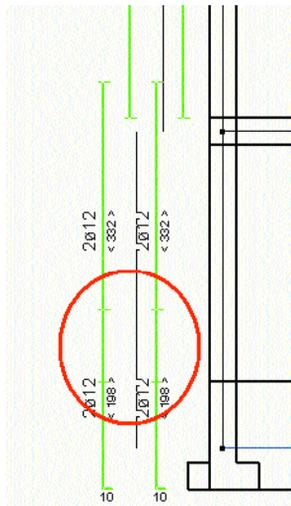
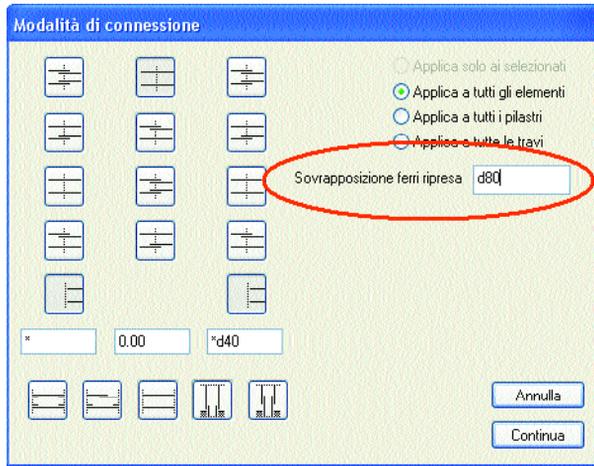
Approfondiamo questa assegnazione. A sinistra imponiamo che le barre partono da una altezza non fissa ma calcolata dal programma (per questo usiamo l'asterisco come carattere jolly). Quest'altezza è calcolata in base all'estradosso delle travi concorrenti nel nodo. In mezzo imponiamo la continuità. La terminazione (a destra) è calcolata dall'estradosso delle travi (solito carattere jolly) incrementato di 40 diametri della barra (assegnato come d40). La disposizione è nella figura seguente. Notiamo che anche in fondazione si è adottata la stessa disposizione predisponendo dei ferri di ripresa con le stesse caratteristiche. Naturalmente il numero di diametri della lunghezza dei ferri di ripresa è assegnabile. A esempio si poteva assegnare *d60.



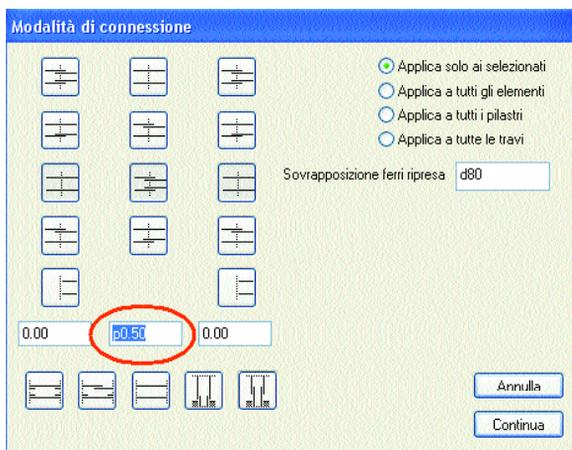
Questo settaggio, molto comune per i pilastri, si ottiene in breve semplicemente cliccando l'iconetta in basso di settaggio rapido:



Va notato che la lunghezza dei ferri di ripresa in fondazione va assegnata separatamente. Quindi, a esempio aumentando a 80 diametri tale lunghezza si avrebbe una differente disposizione (rispetto alla figura precedente) come nella figura seguente.



Vediamo un'ultima disposizione molto comune per i pilastri. Quella che prevede la interruzione all'interpiano.



Questa configurazione del dialogo si ottiene anche in modo diretto cliccando l'ultima icona in basso a destra del gruppo di icone di configurazione rapida. Si noti come a destra e a sinistra si è imposta la continuità nel nodo mentre si è imposta una interruzione in campata assegnando una distanza di interruzione parametrica (p) a metà della campata (0.5). Cioè, si poteva anche assegnare un valore numerico, a esempio 100 cm e la barra sarebbe stata interrotta a 100 cm dal nodo, ma assegnando un valore parametrico, l'assegnazione è valida per ogni altezza di pilastro

Operando su tutti i tipi di connessione nodale e in campata e le distanze assegnabili, si possono ottenere, per ogni elemento, le configurazioni di disposizione e continuità volute.

Verifiche allo stato limite di esercizio

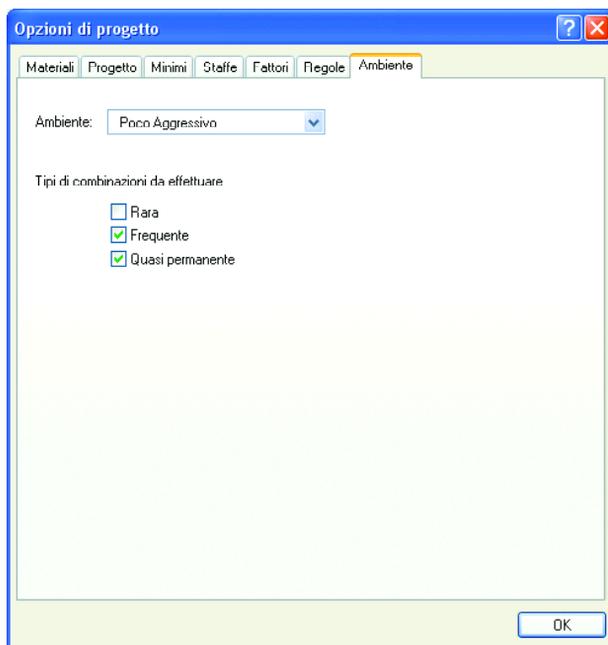
Benché questo argomento non sia correlato alle verifiche per strutture in zona sismica e sia tuttora regolato dal DM del 1996, diamo qualche notizia rapida sull'uso per avere un quadro completo del Percorso.

Le verifiche allo stato limite di esercizio riguardano:

- l'apertura delle fessure
- il limite alle tensioni di esercizio
- la deformabilità.

La deformabilità si può facilmente controllare in Nòlian e nulla ha a che vedere con il progetto delle armature.

Per le prime due verifiche si formano delle combinazioni di carico diverse da quelle di progetto in quanto sia il metodo sia i coefficienti sono diversi. La combinazioni usano la stessa tipologia di carico (permanente, eccezionale etc.) già assegnata per le combinazioni di progetto. Le condizioni eccezionali non partecipano a questo tipo di combinazioni.

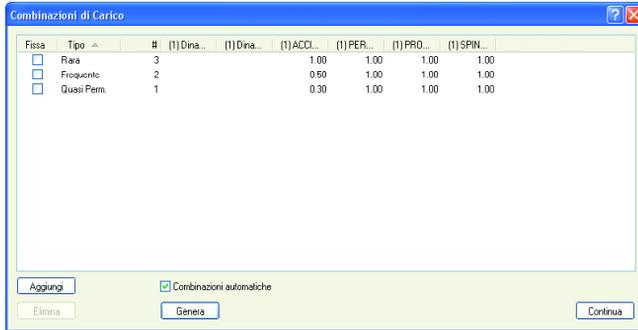


Assegnazione del tipo di ambiente e delle combinazioni.

La normativa prevede tre tipologie di combinazioni per azioni di tipo: Rara, Frequente, Quasi permanente. Le verifiche per questi tipi di combinazioni dipendono dalle “condizione di ambiente” come è riportato nel Prospetto 7-1 del par 4.3.1.6 del citato decreto. Si possono anche assegnare automaticamente i valori previsti da DM96 agendo sull'apposito menu presente nel dialogo.

La verifica delle tensioni non è mai necessaria per le combinazioni Frequenti.

In base al tipo di condizione ambientale, a esempio “Moderatamente aggressivo”, verranno formate le combinazioni richieste e cioè, in questo esempio, Frequente e Quasi Permanente. Le combinazioni il programma le forma in automatico quando si contrassegnano i tipi di combinazioni voluti.



Gestione delle combinazioni.

A questo punto, attivando la verifica dalla palette e selezionando l'elemento voluto, si ottengono l'ampiezza e la distanza delle fessure che si possono confrontare con i valori massimi di normativa.



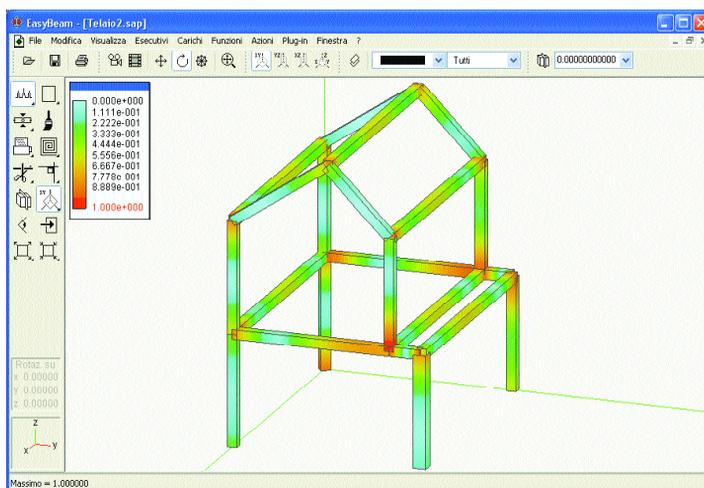
Risultati numerici nella verifica a dialogo.

Si hanno anche le tensioni. Per le tensioni si avranno i limiti di cui al paragrafo 4.3.2. del DM 96 che prevede per la tipologia di esposizione predetta i limiti sulla tensione del calcestruzzo di $0.60 f_{ck}$ e $0.45 f_{ck}$ per le combinazioni rispettivamente rara e permanente $0.70 f_{yk}$ per le tensioni nell'acciaio per entrambe le tipologie di combinazione. È quindi agevole verificare che i valori ottenuti siano nei limiti indicati dalla normativa.



Dialogo per la scelta della rappresentazione a dialogo a colori e per la definizione dei valori limiti.

Per una verifica grafica, occorre attivare questo tipo di rappresentazione e assegnare i limiti di confronto che determineranno la scala dei colori della rappresentazione. Inseriti tali limiti, i colori andranno verso il rosso avvicinandosi ai valori limite. Con quest'ultimo metodo si ha un quadro sintetico dell'andamento su tutta la struttura.



Rappresentazione dei livelli massimi di rapporto con i limiti di normativa per le tensioni di esercizio.

Nota sulle stampe

Le stampe di EasyBeam, o se si preferisce la formazione di un file formato HTML o RTF, costituiscono gli allegati alla relazione di calcolo relativi alle funzioni di EasyBeam. Si hanno tre tipi di testi per i quali si rimanda al manuale. Qui ci preme ricordare alcuni concetti. Le stampe vengono eseguite riportando i dati di verifica relativi alle sezioni indicate dall'operatore. La selezione delle sezioni di verifica può essere fatta in vari modi. Vi sono alcune cose che è utile conoscere per ottenere il migliore e più rapido risultato.

- Durante la stampa vengono eseguite nuovamente tutte le verifiche necessarie ad acquisire i dati necessari per la stampa. Ciò fa sì che qualsiasi modifica effettuata o qualsiasi elemento di progetto sia nuovamente verificato.
- Vi è la possibilità che alcune verifiche non siano eseguibili. Ciò viene indicato in due modi: a dialogo alla fine della stampa per far capire che nella stampa vi saranno messaggi in tal senso. Nella stampa stessa indicando che la verifica non si è potuta eseguire. Ciò non significa che l'elemento non sia verificato per stabilità, resistenza o normativa. Ma che il programma non è stato in grado di eseguire la verifica in quella sezione.
- Alcune verifiche durante la stampa possono non essere eseguite per alcuni motivi. Alcuni motivi sono i seguenti:

La sezione prescelta è priva di armature. A esempio si è scelta una sezione di verifica all'estremità dell'elemento dove, a causa del copriferro, le armature sono assenti. Oppure nell'interno di un nodo dove invece si sono disposte le staffe a filo pilastro. Oppure in una sezione rastremata dal congiungimento di due elementi tra loro formanti un angolo stretto dove le ipotesi di verifica non sono applicabili. In tutti questi casi è sufficiente scegliere, sia a mano che in automatico, le sezioni opportune. Ai fini progettuali non è detto che ogni sezione possa essere sottoposta a verifica per i motivi COSTRUTTIVI anzidetti che possono esorbitare dai modelli di calcolo adottati. Quando ciò dovesse avvenire, EasyBeam invece di applicare modelli di calcolo non applicabili, ne dà avviso.

NOTA: Si ricorda che le recenti Norme per le Costruzioni ("Testo unico") raccomandano molto giustamente relazioni di calcolo sintetiche. Quindi la possibilità di EasyBeam di eseguire stampe su sezioni scelte dall'operatore va nella direzione della normativa e si raccomanda questo uso consapevole della documentazione del progetto anche se ci rendiamo conto delle esigenze burocratiche (non del tutto condivisibili) di fornire documentazione più in senso quantitativo che qualitativo.

In sintesi

Seguono i passi per ottenere un progetto in zona sismica ad alta duttilità. Si ricorda che i parametri sono registrati sia sul file sia sulle preferenze del programma quindi una volta configurato il programma, se non cambiano le esigenze progettuali, non occorre ripetere la configurazione.

Si assume che gli eventuali disassamenti siano già presenti nel modello.

- Accertarsi che i moltiplicatori di combinazione delle condizioni di carico siano quelli voluti
- Definire i tipi di carico (Eccezionale, Variabile etc.)
- Definire i carichi gravitazionali nello stesso dialogo.
- Se il programma NON è già stato configurato per il tipo di progetto che si vuole effettuare:
 - *Attivare le tre opzioni di controllo duttilità nel dialogo delle opzioni di progetto*
 - *Attivare le opzioni di staffatura eventualmente impiegando il settaggio di default*
 - *Attivare le opzioni dei minimi eventualmente impiegando il settaggio di default*
 - *Se occorre, assegnare agli elementi, soprattutto ai pilastri, la tipologia di disposizione delle barre preferita*
- Eseguire il progetto
- Risolvere eventuali errori rilevati durante il progetto.
- Esportare i disegni esecutivi nel sistema BIC
- Eseguire una verifica rapida del progetto
- Risolvere eventuali situazioni non verificate (Scegliere consapevolmente le sezioni di verifica!)
- Salvare su file di testo l'allegato alla relazione di calcolo con il metodo di stampa e le tematiche di stampa preferite.

Tem attualmente non gestiti in automatico da EasyBeam

Ci riferiamo alle prescrizioni della OPCM. I temi non ancora gestiti, o gestibili, in automatico sono i seguenti:

Pareti semplici e composte

Le pareti composte non vengono gestite componendole come suggerito dal normativa. Non riteniamo esistano metodi validi per farlo in automatico né vi sono basi teoriche consolidate su questo argomento francamente un po' vago. EasyBeam non gestisce questo aspetto.

APPROFONDIMENTI SULLA NORMATIVA

1. Travi e pareti

Nella OPCM ci pare che anche per le “pareti” venga adottato un modello di calcolo a Trave inflessa dove, sostanzialmente si assume che le sezioni si mantengano piane. In questa ipotesi, spesso molto restituiva, la “pareti” si possono modellare come elementi trave e progettare con EasyBeam. Cosa ben diversa è il caso delle “vere” pareti ove cioè l’andamento delle tensioni sia complesso e non riducibile a quello della trave. Basti pensare a una parete di scantinato ove per di più sopra insistano dei pilastri. Ricondurre queste “pareti” a un modello a trave non sarebbe significativo. La normativa, a quanto noi almeno abbiamo potuto capire, non tratta questo caso. Il progetto di questi tipi di strutture è effettuato da EasyWall. EasyWall progetta l’elemento strutturale considerando le tensioni diffuse come derivano dal modello ad elementi finiti e progetta su ogni punto definito usando le tensioni con la loro distribuzione derivante dal modello a elementi finiti e quindi individuando la rotazione dei piani di fessurazione del calcestruzzo. Ciò facendo progetta una rete di armature sia per sforzi membranali normali, di taglio e di flessione. Il progetto avviene secondo principi statici e quindi secondo i principi che superano, per formulazione, i requisiti minimi di normativa. Quindi si deve fare attenzione alla terminologia per non fare confusione soprattutto per le pareti che la normativa ritiene assimilabili a travi inflesse e per le pareti come invece continui strutturali. Questi ultimi vengono in genere, più opportunamente, trattati con mesh di elementi finiti bidimensionali e progettati in EasyWall. In quest’ultimo caso, a nostro avviso, il progetto deve seguire i dettami della statica che, se correttamente applicati, coprono i requisiti normativi che, in ogni caso, non sono per questi elementi strutturali, sufficientemente espliciti. Per chi avesse poca dimestichezza con i continui bidimensionali, consigliamo di seguire la semplificazione normativa e di usare elementi trave per la modellazione i “pilastri-parete” della normativa.

APPROFONDIMENTI SUL SOFTWARE

1. La gerarchia delle resistenze

L'opzione di progetto "Duttilità pilastri" determina il progetto dei pilastri tenendo conto dei momenti ultimi delle travi ad essi connesse. Per il progetto a duttilità dei pilastri devono quindi essere state PRIMA progettate le armature delle travi concorrenti nei nodi di estremità dei pilastri. Se si effettua una selezione di tutti gli elementi interessati (quindi con una selezione multipla o totale) EasyBeam ordina automaticamente la GERARCHIA di progetto e progetta prima le travi e poi i pilastri ottenendo quanto necessario automaticamente.

Quando si progetta il pilastro, la funzione di progetto opera come segue:

- Calcola i momenti ultimi di tutte le travi concorrenti negli estremi del pilastro.
- Assume il maggiore tra i momenti ultimi per rotazioni nei due versi
- Somma tali momenti per le due direzioni degli assi locali y e z del pilastro
- Amplifica le somme dei momenti così calcolati del fattore di sicurezza 1.2
- Poiché tali momenti sono momenti di NODO li ripartisce tra eventuali pilastri sovrapposti in funzione della rigidezza dei pilastri
- Per i pilastri che non hanno altri pilastri sovrastanti (di sommità) considera nulli i momenti delle travi
- Per i pilastri che non hanno altri pilastri sottostanti (di base) considera i momenti di base eguali a quelli di sommità

Il pilastro viene progettato per tutte le combinazioni di carico e quindi per DUE ulteriori condizioni che prevedono l'azione dei momenti sopra descritti. Tali momenti di estremità vengono interpolati linearmente lungo il pilastro.

NOTA: In mancanza di una chiara indicazione della normativa in merito, si assume che le azioni nelle due direzioni (cioè i momenti agenti nelle due direzioni degli assi del pilastro) NON siano contemporanee ma vengano considerate agenti separatamente dando quindi luogo a DUE condizioni di calcolo aggiuntive come sopra descritto.

2. Progetto delle pareti-colonna

È una opzione di progetto e si attiva dal dialogo delle opzioni di progetto. È denominata "Duttilità parete". Opera secondo quanto previsto dalla Ordinanza 3274 ove vi siano dei pilastri che per il rapporto dei lati della sezione siano configurabili come "pareti". Se l'opzione è attiva, questo procedimento si applica automaticamente solo agli elementi con caratteristiche tali da

poter essere considerati “pareti” secondo la suddetta ordinanza e solo alle condizioni di carico definite “eccezionali”.

[Vedi anche “Approfondimenti sulla Normativa”]: **1. Travi e pareti**]

Sotto il profilo teorico-operativo, questa funzione opera come segue. Viene individuato il pilastro di base. Vengono calcolate le sollecitazioni di estremità del pilastro e anche la sollecitazione all'altezza nominale prevista dalla norma interpolando i valori di estremo in valore assoluto. La differenza tra questo valore e quello di base (se maggiore di zero) viene impiegata come momento addizionale in tutte le sezioni. Si aggiunge questo valore con lo stesso segno del momento di calcolo nella sezione quindi sempre amplificando il momento. Questo metodo garantisce che in pareti con andamento irregolare del momento (a “farfalla”) non vi siano incongruenze derivanti dal metodo, eccessivamente semplificato dalla normativa, della linearizzazione del momento tra base e sommità. Quindi la traslazione non è lineare su tutto l'elemento (che presupporrebbe un andamento lineare in tutta la parete, cosa che non accade!) ma è una traslazione con preservazione di segno.

3. Progetto a taglio per azioni sismiche

In caso di azione sismica, è opportuno provvedere affinché non si verifichi una rottura per taglio prima che si siano formate delle cerniere plastiche agli estremi della trave. Pertanto il taglio di progetto deve essere valutato tenendo in conto la formazione di cerniere plastiche agli estremi della trave dovute agli effetti combinati dello spostamento laterale dovuto all'azione sismica e dei carichi.

I carichi che contribuiscono a formare le cerniere plastiche formano una speciale combinazione di carico che deve essere appositamente assegnata dall'operatore.

Detti:

- V_{left} taglio a sinistra per effetto della combinazione dei carichi assegnata
- V_{right} taglio a destra per effetto della combinazione dei carichi assegnata
- M_{left1} momento plastico all'estremità di sinistra per effetto di uno sbandamento a sinistra
- M_{left2} momento plastico all'estremità di sinistra per effetto di uno sbandamento a destra
- M_{right1} momento plastico all'estremità di destra per effetto di uno sbandamento a sinistra

- M_{right2} momento plastico all'estremità di destra per effetto di uno sbandamento a destra
 L lunghezza di calcolo dell'elemento

Per uno sbandamento a sinistra si avranno i seguenti valori di taglio ad entrambe le estremità:

$$V1 = -\gamma (| M_{left1} | + | M_{right1} |) / L$$

Per uno sbandamento a destra si avranno i seguenti valori di taglio ad entrambe le estremità:

$$V2 = \gamma (| M_{left2} | + | M_{right2} |) / L$$

Si avranno quindi i seguenti valori di taglio di progetto:

Alla sezione di sinistra:

$$V_{left1} = V_{left} + V1$$

$$V_{left2} = V_{left} + V2$$

Alla sezione di destra:

$$V_{right1} = V_{right} + V1$$

$$V_{right2} = V_{right} + V2$$

Questi valori, interpolati linearmente lungo l'elemento, vengono aggiunti al valore del taglio dovuto alle normali combinazioni di carico di progetto. Il coefficiente γ viene usato come moltiplicatore della resistenza ed è assunto $\gamma=1.20$.

Nel calcolo del momento ultimo i fattori di riduzione di resistenza ed i fattori di sicurezza parziale dei materiali sono sempre assunti unitari. Il momento ultimo viene calcolato tenendo conto o meno, a scelta dell'operatore, della forza assiale agente sull'elemento per azione della speciale combinazione dei carichi assegnata per questa verifica.

Questa funzione è operante solo per sezioni rettangolari, a T, a doppio T, ad L. In caso di sezioni diverse da questa, l'incremento del taglio per azione sismica non viene considerato. Il piano di sbandamento per azione sismica è scelto come segue. Se l'elemento è subparallelo all'asse globale z (pilastro) le verifiche vengono effettuate per entrambi i piani e la forza assiale viene considerata.

Se l'elemento è una trave, la verifica avviene solo per il piano locale xy e la forza assiale viene ignorata.

Duttilità della sezione

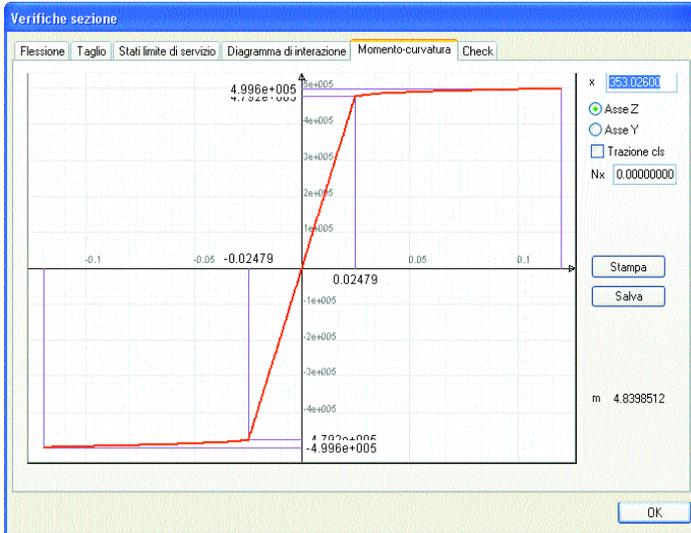
Benché queste verifiche non siano previste dalla OPCM, è molto utile rendersi conto della duttilità delle sezioni per effettuare scelte di progetto consapevoli.

In EasyBeam un sofisticato dialogo consente di rappresentare il diagramma momento-curvatura di una sezione. Questo diagramma è una vera “fotografia” del comportamento della sezione e dà molte informazioni, sia qualitativamente che quantitativamente, del comportamento della sezione. Niente a che fare con le banalità dei “campi di rottura” di libreria memoria. Una definizione di duttilità è il rapporto tra deformazione di rottura e di snervamento. Con questo dialogo di EasyBeam, si ha il valore numerico di duttilità ma si può anche vedere “come” la sezione raggiunge lo stato di rottura. Se dovessimo, a esempio, chiederci se una trave in spessore di solaio si può adottare in una certa situazione, questo è uno degli strumenti che ci aiutano a rispondere.

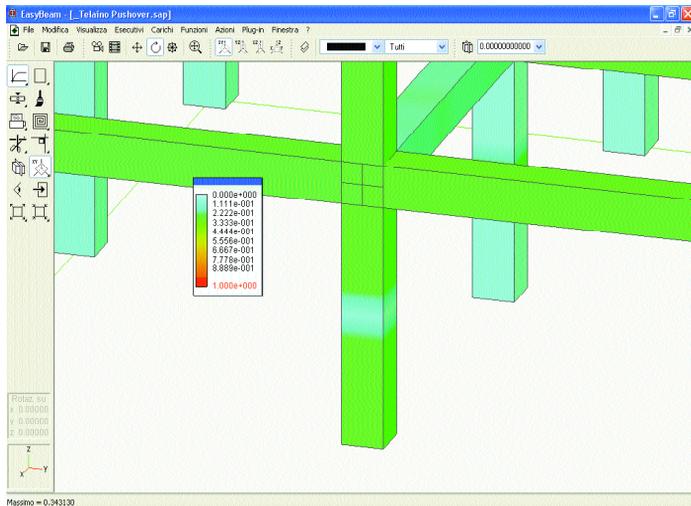
Esaminiamo, a titolo del tutto esemplificativo, due sezioni con momenti ultimi paragonabili, ma una a spessore e l'altra in altezza.



Trave a spessore. Duttilità 3.9



*Trave in altezza. Duttilità 4.9 (25% in più di quella a spessore) a parità di momento ultimo.
La duttilità è uno strumento progettuale. Non è significativa solo la resistenza ultima.*



In considerazione della importanza della duttilità nelle strutture antisismiche, EasyBeam prevede anche una rappresentazione per il controllo della duttilità a mappa di colori.

PERCORSO 3

Progetto di struttura in muratura secondo Ordinanza 3274 e s.m.

Oggetto del percorso

Questo percorso riguarda il progetto di una struttura di nuova realizzazione in muratura ordinaria. Si farà anche un cenno alla verifica di murature esistenti.

I programmi impiegati sono:

- Nölian
- Plug-in di EasyWall

Panoramica

Il progetto di una struttura in muratura ordinaria di nuova costruzione si esegue secondo i passi tradizionali:

- Analisi per conoscere lo stato di sollecitazione
- Verifica per riscontare l'adeguatezza delle membrature strutturali.

Per quanto riguarda l'analisi, la normativa enfatizza metodi non lineari. Noi siamo contrari a queste indicazioni per i motivi che sono nel seguente approfondimento.

[Vedi anche *“Approfondimenti sul software”*: **1. Analisi non lineari delle murature.**]

Qui ci limitiamo a riportare le conclusioni dell'approfondimento. Un'analisi modale lineare è consentita e anzi consigliata. Un'analisi non lineare (di tipo pushover, a esempio) mentre non dà alcuna garanzia di maggiore accuratezza e non dà “vantaggi” ai fini dell'economia del progetto, introduce incertezze a non finire nel metodo e nella modellazione. Oltretutto il metodo “pushover” è oggetto di critiche molto sensate, nel modo in cui è tratteggiato nella nostra normativa, ed è oggetto di studi ancora non conclusi. Molti programmi in commercio basati su tali metodi, e quindi “dedicati” e molto settoriali, oltretutto non consentono una corretta modellazione di altre componenti strutturali (tiranti, elementi fibro rinforzati, cordoli, travi, fondazioni, aperture di forma irregolare, elementi solidi etc.), possibili invece con programmi generali ad elementi finiti. Pertanto le imprecisioni che si è costretti a introdurre nel modello si sommano pesantemente alle incertezze del metodo. Quindi riteniamo i metodi non lineari per le murature del tutto sconsigliabili. Perché

un metodo tuttora sperimentale, che si attua solo tramite programmi appositi sia stato enfatizzato in una normativa per di più cogente come quella italiana e per di più senza un dibattito vasto che includesse le competenze di chi il software lo fa da anni, è un elemento di perplessità la cui trattazione esorbita dallo scopo di queste note ma dà una chiara indicazione della distonia tra normativa ed effettive, reali, concrete esperienze sul campo e chiarisce in pieno la nostra posizione pragmatica e prudente.

“È importante sottolineare che i miglioramenti normativi devono basarsi soprattutto sul superamento dell’inopportuna commistione di principi e prescrizioni inutilmente dettagliate che non devono far parte di documenti cogenti.” [F. Braga, Commentario al DM LL.PP. 16.1.96, par. 5.3.]. Le parole del professor Braga ci pare avvalorino oltre ogni dubbio la nostra posizione.

Per tanto l’analisi, in questo percorso, la intendiamo, la consigliamo, condotta con il metodo modale considerando il materiale a comportamento elastico lineare.

La verifica è piuttosto semplice. Una volta ottenute le sollecitazioni, si applicano dei modelli molto banali di verifica dei pannelli murari.

Anticipiamo che mentre la passata normativa, nell’ottica delle tensioni ammissibili, consentiva delle verifiche puntuali sulle tensioni e quindi era perfettamente compatibile con la avanzata filosofia del metodo degli elementi finiti, la normativa attuale fa sostanzialmente un passo indietro e costringe ad individuare dei “pannelli” (maschi murari). La individuazione di tali pannelli è ardua anche per l’operatore umano e, a nostro avviso, può introdurre non pochi errori nel modello.

Fortunatamente il nostro approccio evita questo non lieve problema nella modellazione (si usa il metodo degli elementi finiti) e lo demanda al momento della verifica dove ha ben minore impatto sulla certezza dei risultati.

Il nostro approccio è quello di effettuare una integrazione numerica sulle sollecitazioni puntuali sulla mesh di elementi finiti per ottenere quelle del modello tecnico della trave che sono richieste dalla normativa. Per essere più chiari, dalla distribuzione delle tensioni nei nodi della mesh, si ricava no, per integrazione numerica, i valori delle sollecitazioni di forza assiale, taglio, momento lungo una linea di integrazione che rappresenta la sezione voluta individuata sul “pannello”. Tali valori vengono poi usati per le verifiche imposte dalla normativa.

L'enorme vantaggio di questo approccio è quello di non privare il progettista dell'enorme potenza e flessibilità del metodo degli elementi finiti e, dal non trascurabile punto di vista economico, di consentirgli di risolvere il problema della analisi delle murature usando uno strumento collaudato e affidabile, e flessibile come un programma ad elementi finiti e risolvendo il problema delle verifiche con un semplice plug-in (nel nostro caso) o comunque di una procedura di verifica abbastanza semplice senza costringerlo all'acquisto di un programma apposito.

Cenno sulla verifica di strutture murarie esistenti

Non sappiamo se la verifica di meccanismi cinematici locali, richiesta dalla OPCM per le strutture da consolidare, sarà mantenuta nella prassi. Infatti il "Testo Unico" non ne fa cenno e si tratta di una procedura piuttosto nuova, non collaudata, sulla quale si sono raccolte poche esperienze pratiche e quindi piena di interrogativi.

Se tale verifiche sono richieste, non è possibile eseguirle con Nòlian e la Softing, allo stato attuale, non ha in progetto un programma specifico che consenta di affrontare questo problema specifico.

Per un approfondimento su questo tema si veda:

[*"Approfondimenti sulla Normativa"*: **1. Meccanismi locali**]

Modellazione

Per la modellazione, nella linea di quanto sosteniamo, e cioè di un uso assolutamente vantaggioso e sicuro del metodo degli elementi finiti con elementi standard e senza elementi "pannello" o macro-elementi o elementi "shear type", e soprattutto di elementi a comportamento lineare, la modellazione si può giovare di tutte le metodologie avanzate già disponibili per generare mesh di strutture in altri materiali. E non dimentichiamo che il modellatore inMod è perfettamente adatto alla generazione di modelli anche per la muratura.

Gli unici punti, e sono molto pochi, sui quali occorre soffermarsi sono i seguenti.

Il fattore di struttura

Il fattore di struttura (q) è stabilito dalle norme (O 8.1.3) e quindi è di agevole definizione. Il fattore di struttura, ad esempio, per una edificio di due o più piani in muratura ordinaria regola rein elevazione è: $q = 2.0 \alpha_u / \alpha_l$ dove

$\alpha_u / \alpha_l = 1.8$ e quindi $q = 3.6$.

Stabilito il fattore di struttura in base alla tipologia e alla norma, si userà il plug-in di Nòlian per generare lo spettro di risposta necessario. L'analisi poi, ripetiamo, segue l'iter standard per le strutture in altri materiali e già descritto anche nel Percorso 1.

Caratteristiche dei materiali

Le caratteristiche dei materiali (modulo elastico e coefficiente di Poisson) si trovano sia sulla normativa che in base al materiale impiegato. Qualora si desideri impiegare coefficienti ridotti, in Nòlian non vi è alcun problema perché si possono inserire elemento per elemento con i valori voluti. Una nota in più merita il coefficiente di Poisson. L'Eurocodice 6 al paragrafo 3.8.3 indica $G = 0.4 E$ da qui deriva immediatamente che si deve assumere per il coefficiente di Poisson $\nu = 0.25$.

Cordoli di piano

I cordoli di piano sono necessari e possono agevolmente modellarsi con elementi trave di adeguate caratteristiche. I cordoli di piano hanno una funzione "pratica" anche nel modello in quanto, benché in Nòlian esistano i carichi di bordo che possono essere assegnati ai lati degli elementi piani, i cordoli possono tranquillamente ricevere i carichi sia del peso della muratura sovrastante che del solaio e trasmetterli agli elementi bidimensionali con i quali è modellata la muratura sottostante. Se si usa inMod, ad esempio, che allo stato attuale NON ripartisce i carichi da solaio sugli appoggi costituiti da pareti, i cordoli soddisfano egregiamente questa funzione di mediazione.

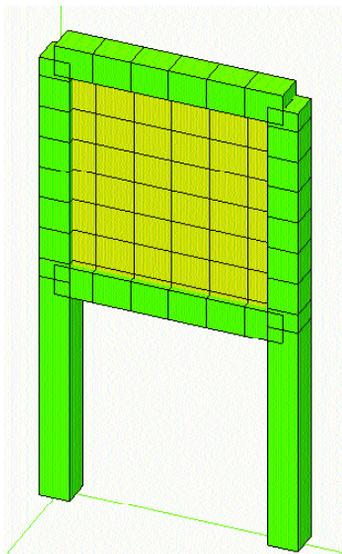
Impalcato rigido

Lo schema stesso di funzionamento di una struttura in muratura richiede una grande attenzione affinché i solai trasmettano adeguatamente tali forze orizzontali e quindi si può assumere che gli impalcati siano sufficientemente rigidi nel loro piano. Pertanto una modellazione che usi il metodo master slave per modellare la infinita rigidità nel piano del solaio è consigliabile.

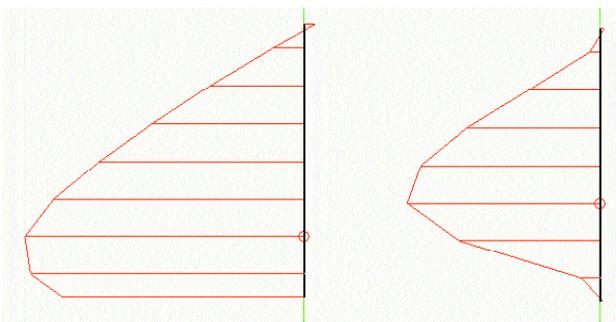
Modello "articolato"

È spesso richiesto dalla normativa, ed è in ogni caso consigliabile, considerare che la muratura non trasmetta efficacemente momenti flettenti ai piani e quindi sia vincolata ai piani da una cerniera cilindrica. Questo schema è detto dalla normativa "articolato". Se non si attuasse questo schema, si affiderebbe parte della risposta a sollecitazioni orizzontali alla flessione fuori piano delle murature, il che è poco credibile. D'altro canto, considerarle solo reagenti nel piano non è corretto e oltretutto non consentirebbe, eventualmente, di valu-

tare le azioni del vento. Quindi lo schema più consigliabile è quello di generare tale “articolazione” a livello di ogni piano. Nòlian consente anche di “svincolare” i gradi di libertà degli elementi bidimensionali, ma qui descriviamo questo metodo perché più intuitivo. Per ottenere questo tipo di vincolo è sufficiente quindi generare una fascia di elementi e assegnare loro un moltiplicatore di rigidità flessionale pressoché nullo.



Nel pannello murario in figura, si noti il differente andamento dei momenti flettenti (figura sotto) senza la “articolazione” (sinistra) e con l’articolazione ottenuta assegnando un moltiplicatore di rigidità flessionale pressoché nullo alle file di elementi ad ogni piano.



Verifiche

Combinazioni dei carichi

Le combinazioni di carico per le verifiche sono le stesse impiegate per gli altri tipi di materiale.

Verifiche per lo stato di esercizio

Vanno eseguite le verifiche previste per le strutture in genere a prescindere dal materiale. Si devono eseguire le verifiche sugli spostamenti interpiano (O. 4.11.2). Queste verifiche possono essere effettuate tramite l'apposito plug-in di Nòlian o con le procedure presenti nei post-processor (vedi Percorso 6). Si ricorda solo che con il plug-in si possono selezionare, per la verifica, sia i pilastri (in questo caso vengono automaticamente considerati i due estremi per la valutazione degli spostamenti) ma anche due punti qualsiasi della struttura. Nel caso della muratura, assumiamo un modello a elementi finiti bidimensionali e pertanto vanno selezionati due nodi sovrapposti giacenti su due piani diversi. Oppure i nodi master, se sovrapposti. Purtroppo la selezione dei punti non può essere automatizzata e quindi è necessario eseguire l'operazione più volte per tutte le coppie di punti desiderate.

Verifica dei pannelli murari

In EasyWorld la verifica delle murature con il metodo degli stati limite è affidato ad un plug-in di EasyWall. Le verifiche da normativa sono piuttosto semplici. Qui di seguito diamo alcune indicazioni sul problema in generale e sulla soluzione da noi adottata. Anticipiamo che la nostra soluzione NON richiede l'acquisto di un programma dedicato al problema, utilizza tutta la potenza del metodo degli elementi finiti e tutti gli strumenti offerti da Nòlian e dal suo ambiente di modellazione inMod ed infine la soluzione delle verifiche a un semplice plug-in di prezzo assai limitato rispetto a soluzioni diverse dalla nostra.

Il metodo di verifica allo stato limite previsto dalle normative si riferisce al comportamento globale dell'intero pannello considerato a comportamento assimilabile ad una trave e cioè sollecitato nel suo complesso con sollecitazioni assiale, di taglio nel piano, di flessione fuori del piano. L'uso del metodo degli elementi finiti è non solo ammesso ma assolutamente consigliabile anche per il progetto di strutture in muratura in quanto, oltre alla nota potenza del metodo, consente una accurata modellazione sia di geometrie complesse sia di elementi strutturali ausiliari importati come catene, tiranti, cordoli, irrigidimenti, impalcati di rigidezza voluta etc.

Il metodo degli elementi finiti consente di avere le tensioni nei nodi della mesh. Aspetto, notoriamente, assolutamente desiderabile. Anzi, anche in edi-

lizia si è salutato, più di venti anni fa, il superamento del modello di setti tramite elementi monodimensionali come un grande e desiderabile progresso. Infatti una delle critiche più forti a questo modello semplificato è legato al fatto che le sezioni nei setti non si conservano affatto piane e quindi le tensioni non hanno affatto un andamento lineare nella sezione. Però il metodo di verifica imposto dalla normativa costringe, nolenti o volenti, a “ricostruire” il modello di sforzi adeguato alle verifiche richieste desumendolo dal modello ad elementi finiti.

Questo nostro approccio quindi salva la possibilità di usare tutta la generalità del metodo degli elementi finiti e salva l’impiegabilità di programmi stabili, potenti collaudati come Nòlian, senza costringere, oltretutto, l’utente ad acquistare altri programmi specifici. Non ci è noto se questo metodo sia stato adottato da altri produttori. In ogni caso è una nostra soluzione originale che soprattutto evita al progettista l’obbligo di usare e acquistare altri programmi specializzati e gli consente di risolvere il problema con un semplice, economico plug-in.

Il metodo con il quale otteniamo le sollecitazioni equivalenti a quelle della trave inflessa desumendole da un modello al continuo, è quello di eseguire una integrazione numerica lungo una sezione del continuo. L’integrazione numerica delle tensioni consente di ottenere, sulla sezione di verifica, le tre sollecitazioni necessarie per le verifiche secondo normativa.

Questo metodo ha un vantaggio ancora che è quello di poter eseguire le verifiche in qualsiasi sezione comunque prescelta.

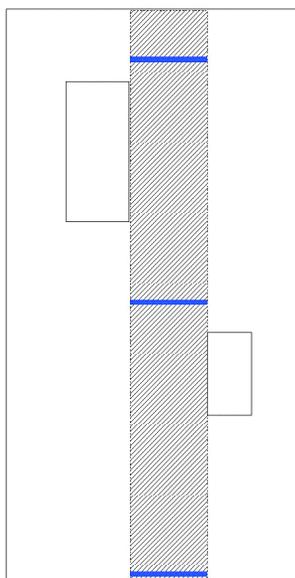
Un altro notevole vantaggio di questo metodo è quello di non dover definire i pannelli in fase di analisi con tutte le incertezze che si avrebbero usando questa schematizzazione semplificata e quindi conseguendo il vantaggio di non alterare l’analisi con scelte a priori che possono poi rivelarsi infelici. Solo al momento della verifica si scelgono i “pannelli” ai fini quindi della sola verifica. Ricordiamoci che un pannello è definito come un elemento continuo senza aperture e quindi per le verifiche basta individuare questi elementi continui e scegliere, lungo di essi, le sezioni da verificare. Ovviamente, non essendo stati costretti a una predefinizione dei pannelli, le verifiche si possono fare e ripetere in più sezioni come si desidera senza alcuna difficoltà.

Va notato chiaramente che il segmento di verifica che individua la sezione di verifica anche nell’interfaccia del programma ha significato non solo nella

posizione ma anche nella lunghezza in quanto la lunghezza del segmento specifica la larghezza del pannello e quindi modifica il valore dell'intervallo di integrazione quindi il calcolo delle azioni risultanti. Cioè, il segmento che indica la sezioni di verifica DEVE essere lungo quanto il pannello che si è individuato.

Si rileva che con questo metodo si possono eseguire verifiche in qualsiasi sezione del pannello. Se, ad esempio, si esegue una verifica per azioni del vento il momento massimo, nell'ipotesi di appoggio articolato del pannello, si troverà a metà interpiano e non nella sezioni di piano dove, abitualmente si conduce la verifica.

Nell'immagine che segue, l'individuazione di un pannello e tre ipotetiche sezioni di verifica (in colore blu).



Desideriamo notare che una integrazione numerica è condotta sui valori nodali e quindi più sono i nodi più è accurato il risultato e, comunque, il metodo di integrazione ha delle approssimazioni numeriche per le quali non è certamente possibile trovare risultanti esattamente eguali alle forze agenti. Quindi ci si deve aspettare un discostamento che è insito sia nella discretizzazione del metodo degli elementi finiti sia nella integrazione numerica stessa. Infittendo la mesh, l'approssimazione migliora. In ogni caso si hanno risultati sempre significativi ai fini delle verifiche. Un'altra osservazione è legata alle

perturbazioni delle tensioni al vincolo. Queste perturbazioni sono dovute sia all'effettivo andamento delle tensioni ai vincoli sia a perturbazioni di carattere numerico. Una verifica in una sezione distanziata dal vincolo di una distanza almeno paria allo spessore dell'elemento, dà in genere migliori risultati.

Verifica delle travi in muratura

Con riferimento alla normativa (O 8.2.2.4) la verifica è del tutto analoga a quella dei pannelli e si può usare lo stesso plug-in sopra descritto. Ciò anche nell'ipotesi di sforzo assiale non conosciuto per la presenza del piano infinitamente rigido, ipotesi anche questa prevista dalla normativa. La verifica non è diversa da quella sopra descritta per i pannelli e quindi si rimanda al manuale del plug-in per le poche differenti istruzioni sull'uso.

Verifica della muratura armata

La verifica della muratura armata non differisce sostanzialmente dalla verifica della muratura ordinaria, salvo che la presenza della armature richiede una analisi non lineare della sezione presso-inflessa. Tale verifica viene eseguita dal plug-in di EasyWall già descritto semplicemente attivando questo tipo di verifica e assegnando le armature adottate nella muratura.

Verifica delle fondazioni

La verifica delle fondazioni, in calcestruzzo a trave, si esegue come per le strutture in calcestruzzo senza particolari requisiti. EasyWall mette a disposizione un plug-in per effettuare la verifica della portanza delle fondazioni. La soluzione di affidare a un plug-in di EasyWall questo compito nasce dalla constatazione che molto spesso nel modello non si usano le travi di fondazione, soprattutto per strutture in muratura, ma si vincolano direttamente i nodi di base. Quindi non vi è sempre un elemento del modello che possa essere oggetto di verifica. Per questo motivo si è pensato fosse molto più comodo ricorrere a una integrazione delle sollecitazioni in un continuo di elementi finiti bidimensionali in modo da poter eseguire le verifiche indipendentemente dagli elementi usati nel modello. Quindi questo plug-in opera come si è detto per le verifiche dei pannelli, definendo cioè una linea di integrazione (in questo caso coincidente con l'asse della fondazione) lungo la quale viene calcolata la portanza della fondazione e la sollecitazione al fine ottenere il rapporto di sicurezza richiesto dalla normativa. Il plug-in tiene conto anche delle azioni flettenti sulla fondazione. Il metodo impiegato per il calcolo della portanza è quello di Hansen.

Una osservazione sull'uso del fattore di sfruttamento anziché quello di sicurezza in molte funzioni di EasyWorld. La resistenza ultima in genere non è

mai nulla mentre le azioni agenti possono benissimo esserlo e, anzi, spessissimo lo sono. Quindi il fattore di sicurezza, in caso di azioni nulle avrebbe valore infinito quindi verrebbe mal rappresentato sia numericamente che in mapping a colori. Invece il fattore di sfruttamento assume valori infiniti solo se la resistenza ultima dell'elemento strutturale è nulla il che è inconsueto stante il fatto che i fattori dimensionali e di resistenza dei materiali in genere vengono sempre assegnati.

APPROFONDIMENTI SULLA NORMATIVA

1. Meccanismi locali

Nella verifica di strutture esistenti, la normativa (OPCM) considera un nuovo problema prima non considerato a livello normativo e cioè che vi sia la possibilità che degli elementi strutturali non siano sufficientemente connessi tra loro e quindi che il loro collasso avvenga per meccanismi cinematici anziché elastici.

La osservazione è rigorosa e condivisibile in linea di principio. Lo è meno quando si introduce questo problema in una normativa cogente e da applicarsi indistintamente a ogni consolidamento. E, per di più, se ne individua la soluzione sbrigativamente senza che vi siano alle spalle consolidate esperienze e metodi di calcolo sufficientemente collaudati, sperimentati, validati.

Oltre tutto, questa normativa, a differenza delle precedenti, senza dirlo apertamente, dà per scontato che le procedure si debbano eseguire tramite programmi di calcolo ma di programmi di calcolo non parla mai e tanto meno chi ha redatto questa normativa si è degnato, usiamo questa parola a ragion veduta, di interpellare gli addetti ai lavori. Si parla sempre di dialogo, dibattito, confronto. Quando sarebbe utile per migliorare decisioni tecniche importanti e quindi avrebbe significato preciso e utile, allora il dialogo si dimentica.

Sui metodi di calcolo per risolvere questo problema abbiamo le più ampie riserve. Ci pare si faccia più accademia che progetto. Perché un metodo potente come quello degli elementi finiti passasse dalla ricerca ai tavoli degli ingegneri sono passati decenni e ci è voluta anche la buona volontà di pionieri come l'azienda che scrive.

Abbiamo anche le più ampie riserve sulla possibilità di una chiara individuazione delle parti strutturali che entrano in gioco, abbiamo le più ampie riser-

ve di fronte alla difficoltà di modellare queste situazioni, abbiamo infine riserve amplissime sul fatto che non esistono, a quanto ci consta, programmi di calcolo di riferimento e prassi di calcolo collaudate che impieghino questi metodi. Quindi si è aperto il campo a la generazione di procedure abbastanza poco controllate e controllabili.

Ad esempio si parla di “individuazione di corpi rigidi definiti da piani di frattura, ipotizzabili per scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro”. Tale “individuazione” ci pare abbastanza critica e incerta. Poi di contro si danno formule da manuale di ingegneria che non dovrebbero trovare posto in una norma. Sembra vi sia un intento più didattico che normativo. Traspare, ce lo si lasci dire, un certo modo di porsi da aula scolastica. Infatti alla certezza della formula si contrappone – trascurando del tutto il problema – una totale incertezza nel modello che così vanifica ogni validità di questo approccio. Pare che il risultato concreto non interessi a fronte di una formulazione accademicamente ineccepibile... o *forse* ineccepibile.

Preferiamo individuare il quadro fessurativo, e quindi il pericolo della formazione di meccanismi, tramite una chiara e consolidata analisi elastica per poi intervenire con della sana capacità costruttiva a sanare la possibilità dei suddetti meccanismi.

Ciò detto, riteniamo che la normativa verrà modificata o meglio interpretata. Dal suo tono trionfalistico forse dovrà abbassarsi a fare i conti con la realtà. Non ci pare infatti che introduca criteri discriminatori tra tipologie di strutture e quindi costringerà al solito escamotage burocratico tutti i progettisti che dovessero consolidare anche una casa cantoniere i quali si dovranno affidare a un programma non validato per produrre dei numeri che dissetino la brama del Moloch burocratico.

Preferiremmo mille volte, come committenti, che un ingegnere esperto “ricucisse” la nostra casa in muratura piuttosto che dimostrasse, numeri alla mano, prodotti da chissà che software, che le pareti in bilico non crollino.

Non dimentichiamo che questa normativa nasce sulla emotività del terribile crollo di San Giuliano. Crollo che non dovremmo mai dimenticare non solo per la sua tragicità ma perché non abbiamo voluto imparare molto da quell'episodio. San Giuliano era un struttura in muratura. Non ci pare vi sia più chiarezza di prima in questa norma. Anzi. Ed è la chiarezza delle priorità progettuali che evitano i San Giuliano, non gli astrusismi intellettualistici.

Scusate il tono, ma questo approccio ai problemi ci pare così disinvolto da offendere la professionalità di tutti noi.

In ogni caso, vi è un solo modo serio di affrontare il problema, a nostro avviso. Ed è quello di evitare il formarsi di possibili cinematici significativi, non di verificare la stabilità cinematica di elementi strutturali chissà mai come connessi e come formati. Se il consolidamento pratico, costruttivo, è tecnicamente possibile da realizzarsi, un programma a elementi finiti è la soluzione migliore per valutare il funzionamento delle ammorzature, dei collegamenti, dei tiranti, dei rinforzi in fibre.

Di questo tipo di consolidamenti, con Nòlian si ha già un vasta casistica consultabile sul nostro sito. Anche per la cupola di San Francesco ad Assisi, per dirne una per tutte, è stato usato Nòlian.

Se poi si devono invece verificare meccanismi cinematici, si entra in una tipologia di problemi lontana da quella elastica o elasto-plastica e quindi si entra in una terra poco esplorata (nelle applicazioni pratiche alle strutture) e sconsigliabile da percorrere sul filo di normativa.

Per chi ritenesse di dovere espletare necessariamente questo tipo di verifiche, diciamo subito e chiaramente che non lo può fare con Nòlian e che noi, allo stato attuale, come Softing, non siamo interessati ad affrontare questo tipo di problemi e quindi indirizziamo i nostri utenti a programmi redatti per lo scopo... facendo loro tanti auguri, ovviamente.

APPROFONDIMENTI SUL SOFTWARE

1. Analisi non lineare delle murature

Nòlian supporta metodi di analisi non lineare fin dalla sua nascita negli anni '80. Quindi la Softing non solo è stata sempre molto attenta a questo tipo di approccio soprattutto in campo edile e civile, ma vanta un'esperienza non indifferente di applicazioni pratiche di algoritmi di analisi non lineare alla progettazione di ogni giorno.

Da questa esperienza, la Softing è giunta alla conclusione che – allo stato attuale (perché in questo campo gli sviluppi sono continui) – i metodi di calcolo non lineare applicati alle murature si possono raggruppare in due tipologie.

Entrambe, lo anticipiamo, che riteniamo non portino a risultati utili in generale.

Vi sono i metodi sofisticati, sperimentali, accademici che possono essere impiegati solo da chi ha molta esperienza e tempo. Il loro uso è giustificato solo da situazioni progettuali tali da richiedere ogni possibile sforzo di approfondimento decisionale. Questi metodi sono troppo costosi, in termini di tempo e di conoscenze tecniche necessarie, per il progettista e sono ingiustificati, se non pericolosi, per i progetti ricorrenti. Il loro uso da parte di persone inesperte può portare a decisioni basate su risultati del tutto inattendibili. Basta spesso modificare pochi parametri, cambiare l'infillimento della mesh, la storia del carico perché i risultati cambiano anche notevolmente. Molti di questi metodi sono ancora sperimentali, non sufficientemente approfonditi, e "spendibili" solo perché il software può dare loro una veste di affidabilità e di interesse "edonistico" (grafici accattivanti, inviluppi, colori, termini altisonanti) che non consentono, sotto la veste accattivante, di capire se sono o meno costruiti su dati significativi. Certe volte con l'alibi di un software che nasconde tutto sotto una "interfaccia" accattivante, si fanno delle realizzazioni che non hanno alcuna validazione attendibile nei casi generali. Non siamo affatto convinti della validità di questi metodi, lo ripetiamo, nell'uso pratico. Nel campo della ricerca e delle applicazioni speciali invece non solo ne siamo convinti, ma noi stessi dedichiamo parte del nostro investimento in ricerca in questo settore. In Nòlian, a esempio, esiste un elemento con leggi di danneggiamento (che allo stato della ricerca attuale sembrano le più promettenti) e un macro-elemento per la muratura. Entrambi funzionano bene se in mani esperte e per progetti che ne giustificano l'uso, ma non sono rilasciati per i motivi suddetti. Si consideri anche che in Nòlian vi sono metodi per ottenere la curva forza-spostamento (per l'analisi pushover) con metodi di controllo di passo e di lunghezza d'arco e sono disponibili elementi finiti per travi con modello a fibre e per gusci in calcestruzzo a "layer". Il massimo per lo stato attuale.

Sulle difficoltà di tali metodi citiamo a conforto delle nostre idee (traducendo dalle versione inglese), Casciari, Formica e Sansalone dal loro "E mixed solution strategy [...]" Elzevire, *Comp. Meth. Appl. Mech. Engng.*, p.191:

"Vi sono ancora degli aspetti irrisolti del comportamento degli edifici in muratura non armata come è evidenziato dalle differenze tra predizioni teoriche e risultati sperimentali".

Vi sono poi, accanto a metodi sofisticati ma di difficile e incerto impiego, dei metodi banali in cui la non linearità è introdotta da legami costitutivi troppo semplificati, del tipo, per intenderci, del famoso POR. In questo caso i pro-

cedimenti di calcolo non sono così sofisticati, i modelli costitutivi sono abbastanza banali da non dare problemi di convergenza. Ma questi modelli sono talmente banali che non danno, a nostro avviso, alcuna informazione in più per potere decidere meglio il proprio progetto. Di contro, spesso, come il POR, costringono a modellazioni molto discutibili sia dal punto di vista geometrico che delle assunzioni semplificative di base. Anche i presupposti vantaggi della possibilità di tener conto di una redistribuzione plastica degli sforzi appare, alla luce dei fatti, abbastanza poco significativa, sotto l'aspetto progettuale. Quindi, se si usano questi modelli, non si va molto oltre la più sicura e governabile soluzione elastico lineare mentre si corrono i rischi derivanti da una modellazione meno accurata.

Per questi motivi noi siamo contrari, allo stato attuale, a spingere all'uso di procedure di tipo non lineare per il progetto tipico di strutture murarie. E questo pur vantando più di vent'anni di esperienza di analisi di strutture in muratura molto significative e pur andando contro i nostri interessi perché sviluppare una delle sopra descritte procedure vorrebbe dire mettere "sul mercato" un nuovo "prodotto" da vendere.

Pertanto, in questo Percorso, non prenderemo in considerazione metodi non lineari e anelatici di alcun tipo e consiglieremo e guideremo l'uso solo di procedimenti elastico lineari.

In conclusione, per confortare le nostre perplessità con una citazione di altissimo livello, riportiamo una nostra traduzione della introduzione di un interessante articolo di Anil K. Chopra e Rakesh K. Goel "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings" pubblicato in *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 2002. Lo scopo di questa breve citazione è quello di mostrare come i metodi sbrigativamente resi cogenti dalla normativa sono invece tuttora oggetto di critiche e di approfondimenti e non possono essere quindi, a nostro avviso, presi come elementi cogenti della normativa dando illusorie e pericolose certezze.

"Valutare la richiesta sismica a bassi livelli prestazionali, come la sicurezza delle vite e la prevenzione dei crolli, richiede delle considerazioni esplicite sul comportamento anelastico delle strutture. Mentre l'analisi non lineare nel dominio del tempo (RFLA) è la procedura più rigorosa per valutare la richiesta sismica, la pratica progettuale corrente preferisce l'impiego di procedure statiche non lineari (NSP) o l'analisi pushover come in FEMA-273. La richiesta sismica è calcolata tramite un'analisi non lineare statica della struttura sottoposta a forze laterali crescenti monotonicamente distribuite in modo invariate secondo l'al-

tezza, fino al raggiungimento di uno spostamento prefissato.

Sia la distribuzione delle forze che lo spostamento prefissato sono basate sull'assunzione che la risposta sia controllata dal modo fondamentale e che la forma modale resti invariata dopo lo snervamento della struttura.

Ovviamente, dopo lo snervamento della struttura, entrambe le assunzioni sono approssimate, ma indagini hanno portato a una buona valutazione delle richieste sismica. Comunque, questi risultati soddisfacenti sono principalmente limitati a strutture di piccola o media altezza purché l'azione anelastica sia distribuita lungo l'altezza della struttura.

Nessuna distribuzione invariata delle forze può tenere conto del contributo dei modi più alti o della redistribuzione delle forze di inerzia a causa dello snervamento della struttura e dei conseguenti cambiamenti delle proprietà di vibrazione.

Per superare queste limitazioni, molti ricercatori hanno proposto distribuzioni adattive delle forze per seguire più da vicino la variazione nel tempo delle forze inerziali. Mentre questi metodi adattativi possono condurre ad una migliore valutazione della richiesta sismica, essi sono concettualmente complicati e computazionalmente onerosi per progetti di routine nella pratica progettuale. Sono stati anche fatti tentativi per considerare più modi di vibrare nell'analisi pushover.”

Per correttezza, riportiamo anche il brano in lingua originale.

“Estimating seismic demands at low performance levels, such as life safety and collapse prevention, requires explicit consideration of inelastic behaviour of the structure. While non-linear response history analysis (RHA) is the most rigorous procedure to compute seismic demands, current civil engineering practice prefers to use the non-linear static procedure (NSP) or pushover analysis in FEMA-273 [1].

The seismic demands are computed by non-linear static analysis of the structure subjected to monotonically increasing lateral forces with an invariant height-wise distribution until a predetermined target displacement is reached.

Both the force distribution and target displacement are based on the assumption that the response is controlled by the fundamental mode and that the mode shape remains unchanged after the structure yields.

Obviously, after the structure yields, both assumptions are approximate, but investigations [2-9] have led to good estimates of seismic demands.

However, such satisfactory predictions of seismic demands are mostly restricted to low-and medium-rise structures provided the inelastic action is distributed throughout the height of the structure [7; 10].

None of the invariant force distributions can account for the contributions of higher modes to response, or for a redistribution of inertia forces because of structural yielding and the associated changes in the vibration properties of the structure.

To overcome these limitations, several researchers have proposed adaptive force distributions

that attempt to follow more closely the time-variant distributions of inertia forces [5; 11; 12]. While these adaptive force distributions may provide better estimates of seismic demands [12], they are conceptually complicated and computationally demanding for routine application in structural engineering practice. Attempts have also been made to consider more than the fundamental vibration mode in pushover analysis [12-16].”

Questo nostro studio è stato fatto anche con la finalità di fornire ai nostri utenti una traccia per formarsi una propria convinzione e per opporre argomentazioni valide e documentate a eventuali obiezioni gli vengano poste da committenti o dalla pubblica amministrazione.

PERCORSO 4

Progettare edifici isolati sismicamente

Ringraziamenti

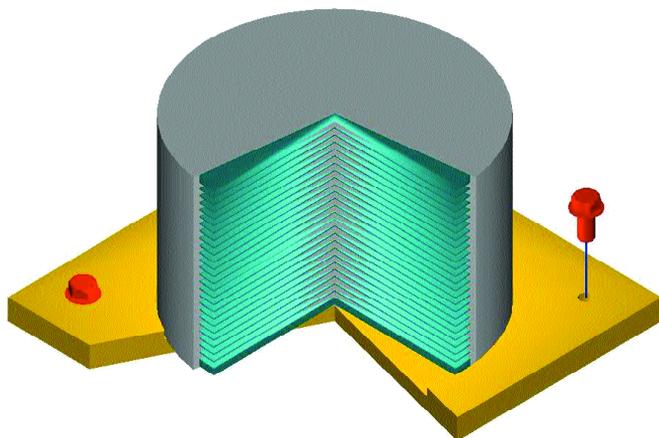
Questo Percorso è stato reso possibile solo dalla stretta collaborazione con la TIS S.p.a (www.tis.it) e dalla disponibilità e competenza dell'ingegner Chiara Castino. Ringraziamo la TIS e la signora Castino.

Premessa

Progettare edifici isolati sismicamente non è difficile. Sull'isolamento sismico vi è un'aura di mistero dovuta in larga parte al fatto che l'impiego di questa tecnica era subordinata alla approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Ora, con l'Ordinanza 3274, non è più così. Strumenti di calcolo evoluti, il miglioramento delle prestazioni degli isolatori, il consolidarsi delle tecniche costruttive hanno reso questa tecnica abbordabilissima. Purtroppo, sull'argomento, sono reperibili solo testi abbastanza accademici. Qui, in collaborazione con la TIS vogliamo dare delle "Istruzioni sull'uso" molto semplici.

Perché il progetto è facile

Per gli edifici, gli isolatori che vengono in genere impiegati sono di tipo elastomero. Questi isolatori sono fatti di strati di una particolare miscela di gomma dalle proprietà dissipative alternati a lamiere di acciaio per migliorarne il comportamento sotto carico verticale.



Se si ha la necessità di avere una maggiore dissipazione (coefficiente di smorzamento $> 15\%$), si può ricorrere ad isolatori più “sostanziosi” nei quali la gomma è dotata di cavità riempite di un materiale dalle notevoli capacità dissipative (coefficiente di smorzamento $20\%-28\%$).

Gli isolatori elastomerici hanno un comportamento descrivibile tramite relazioni lineari poiché si tratta di dispositivi elastici e, per i valori di deformazione comunemente utilizzati compresi fra il 50% ed il 200% , la rigidità si mantiene costante. Si comportano, per intenderci, come le sospensioni delle automobili. Quindi agiscono come molle associate a smorzatori viscosi influenzando su due parametri del comportamento della struttura: lo smorzamento e il periodo.

È noto che all'aumentare del periodo la risposta in accelerazione diminuisce e altrettanto avviene aumentando lo smorzamento. Gli smorzatori elastomerici fanno entrambe le cose.

Certamente vi sono dei limiti: e in questo consiste un buon progetto. All'aumentare del periodo aumenta lo spostamento e gli apparecchi d'isolamento non possono spostarsi oltre un certo intervallo oltre il quale perdono di efficacia. O, più esattamente, il valore limite è relativo e non assoluto nel senso che la deformazione dell'isolatore non può superare il 200% dello spessore di gomma, ma basta aumentare lo spessore stesso per avere maggiori spostamenti. Le forze verticali che su essi agiscono non devono superare certi limiti in quanto, a isolatore deformato, la capacità portante anch'essa diminuisce. Ma, come si vede, sono concetti molto semplici.

Il modello di calcolo

I testi in commercio presentano lunghi calcoli fatti “a mano” riportando tutti i passaggi presupponendo due cose non vere: la prima che il progettista abbia voglia di seguirli, la seconda che il calcolatore elettronico serva solo per fare, alla fine del libro, qualche bel disegno per sentirsi “alla moda”. Noi sappiamo invece che i progettisti usano il calcolatore come uno strumento di lavoro e quindi la loro prima preoccupazione è come usarlo per una struttura isolata.

È semplice. Ve lo diciamo in due passi.

1) Generare uno spettro di risposta elastico con smorzamento equivalente dell'isolatore prescelto (tipicamente 10%). In Nòlian si fa con il plug-in gratuito di generazione degli spettri.

2) Nel modello, inserire delle molle (in Nòlian l'elemento Boundary) sotto i punti (generalmente a livello fondazioni ma l'isolamento può avvenire a qualunque livello dell'edificio) con rigidezza "laterale" pari a quella degli smorzatori adottati e rigidezza assiale che è tipicamente 800 volte quella orizzontale. La norma prescrive che per evitare l'effetto rocking l'isolatore debba possedere una rigidezza verticale almeno pari a 800 volte quella orizzontale). Questi dati si possono ricavare dal catalogo del produttore.

A questo proposito, ricordiamo che, in genere, i cataloghi dei produttori riportano solo dei valori tipici ma che gli smorzatori possono essere realizzati anche sui parametri richiesti dal progettista.

Forse è utile ricordare che la rigidezza orizzontale K dell'isolatore è data dalla relazione $K = G \times A / H$ dove H è l'altezza dell'isolatore, A l'area dell'isolatore e G il modulo di elasticità trasversale del materiale tipicamente compreso tra 0.4 e 1.4 MPa.

Le masse da applicarsi in questa analisi sono, così come previsto dalla normativa, relative ai carichi permanenti (G_k) e variabili (Q_k) moltiplicati per i coefficienti g tabellati secondo la combinazione di carico che si vuole verificare (statica, sismica...)

Quindi il modello non presenta difficoltà.

Le verifiche

Come abbiamo detto, per motivi fisici che si riflettono nella normativa, si può effettuare, per il tipo di isolamento di cui parliamo, un'analisi dinamica lineare. Quindi si può effettuare l'analisi sismica che si effettua normalmente su edifici senza isolatori. Non si deve apprendere alcuna nuova tecnica.

Abbiamo supposto qui di operare su un modello per il quale si sia già effettuato un predimensionamento degli isolatori. Fatta l'analisi avremo come primo dato lo spostamento dell'isolatore che, come avevamo detto, non deve superare il massimo spostamento di lavoro dell'oscillatore, valore fornito dal produttore. Dobbiamo dire però che questa non è una regola rigida: gli isolatori possono essere dimensionati teoricamente per qualunque spostamento, così come per qualunque carico verticale; il catalogo del produttore è utile per dare degli ordini di grandezza, ma è bene non rimanere vincolati ai valori riportati sul catalogo). Poi abbiamo lo sforzo verticale che non deve superare quello mas-

simo supportato dallo smorzatore in fase sismica (cioè sotto massima deformazione orizzontale), anche questa ricavabile dal catalogo del produttore.

Criteri di posizionamento

Abbiamo anticipato la fase di calcolo e verifica per sfatare l'impressione che il "calcolo" sia complicato. Come si è visto, invece è banale.

Ora vediamo però alcuni criteri di progettazione. Infatti la verifica consiste nella validazione di una scelta progettuale e quindi preventivamente occorre un progetto. Con gli isolatori si ha una possibilità in più di dosare l'azione sismica sull'edificio, di ridistribuirne le rigidità.

Quando pensiamo a un edificio interamente isolato alla base possiamo pensare in termini di rigidità di tutto il sistema isolante e di massa dell'edificio tutto. Cioè possiamo pensare, in prima battuta, a un oscillatore elementare. Primo ovvio criterio progettuale è che gli isolatori vengano disposti in modo da ottenere la minima eccentricità possibile tra centro di masse e di rigidità (del sistema isolato). Quindi gli isolatori vanno disposti accuratamente e dimensionandoli anche in modo diverso uno dall'altro in modo che "lavorino" tutti insieme e non inducano torsioni. È piuttosto intuitivo. Inoltre la rigidità "laterale" totale del sistema degli isolatori deve essere quella richiesta per ottenere le prestazioni volute. Cosa che si ottiene con un facile pre-dimensionamento.

Il predimensionamento

Ci poniamo l'obiettivo di ottenere un periodo di vibrazione (il primo periodo) di un valore di progetto prefissato da noi. La normativa impone un limite di 2 sec per gli edifici e 2.5 sec per i ponti, il limite è limitato all'applicazione dell'analisi lineare, è possibile utilizzare valori superiori del periodo purché si esegua un'analisi dinamica non lineare. Orientativamente diciamo che vorremmo un periodo di 2 sec. Abbiamo detto prima che possiamo, in prima battuta considerare il sistema isolato come un oscillatore elementare. Quindi dalla nota relazione:

$$K = 4 \pi \text{sqrt} (M/T)$$

otteniamo la rigidità totale orizzontale che deve avere il complesso degli isolatori per farci ottenere il periodo T richiesto alla nostra struttura di massa complessiva M.

Il periodo di progetto ci fornisce anche la accelerazione di progetto ottenuta dallo spettro elastico con smorzamento voluto. Entrando infatti in ascissa nel diagramma dello spettro, otteniamo l'accelerazione sismica S .

Quindi impiegando le note relazioni $F = S M$ e $d = F / K$ otteniamo lo spostamento d del sistema di isolamento. Tale spostamento non deve superare i limiti di uso dei dispositivi adottati. Non esiste un limite, il limite è dettato da considerazioni funzionali es. reperibilità dei giunti di collegamento per gli impianti. Comunque spostamenti tipici ottenibili sono dell'ordine di grandezza di 150-300 mm variabili in funzione della zona sismica e del terreno.

Sapendo il numero degli isolatori che vogliamo usare, si ottiene subito la rigidità di ciascuno di essi che, insieme allo spostamento massimo e alla massima forza verticale, consentono di scegliere l'isolatore per il nostro progetto.

Va detto che non si devono necessariamente usare isolatori elastomerici per ogni base di pilastro. Si possono usare anche degli isolatori a slitta (ad attrito). Va detto però che tali isolatori hanno comportamento descrivibile con leggi non lineari per cui se ne usano molti l'analisi dinamica lineare non è più ammessa e si deve ricorrere a un'analisi dinamica nel dominio del tempo. Va pertanto eseguita una verifica di linearità del sistema di isolamento. Analisi più complessa ma certamente possibile con Nòlian.

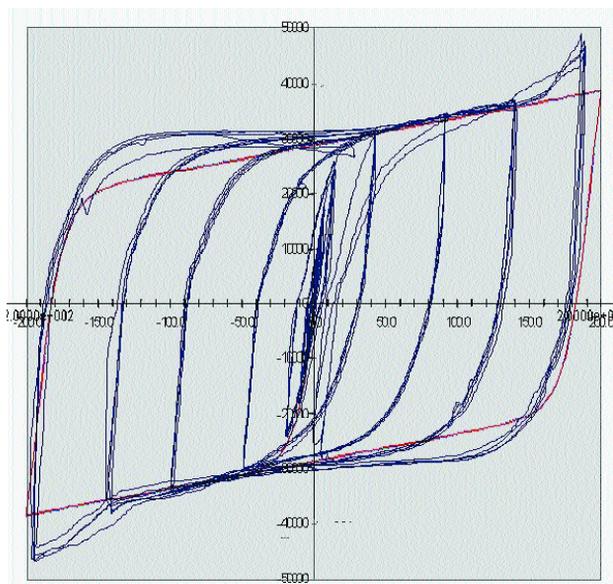
[Vedi anche "*Approfondimenti sul software*": **1. Analisi non lineare.**]

La successiva fase di verifica, che per motivi espositivi abbiamo anticipato, confermerà le nostre scelte e così consentirà di verificare se il periodo di oscillazione di progetto è stato ottenuto. Un metodo iterativo di modifica-verifica ci consentirà anche di ottimizzare facilmente, se necessario, il progetto.

APPROFONDIMENTI SUL SOFTWARE

1. Analisi non lineare

L'analisi non lineare nel dominio del tempo esorbita lo scopo di questo Percorso che vuol solo essere un approccio al progetto con l'uso degli isolatori. Desideriamo solo informare che in Nòlian esiste la possibilità di eseguire analisi non lineari nel dominio del tempo con i metodi di Newmark e di Wilson. La figura seguente mostra, a titolo solo informativo, il ciclo isteretico di uno smorzatore della TIS ricavato sperimentalmente messo a confronto con il ciclo isteretico (in colore rosso) ottenuto modellando l'isolatore con Nòlian ed eseguendo un'analisi non lineare nel dominio del tempo. È notevole la rispondenza del modello di calcolo con i dati sperimentali.



PERCORSO 5

Relazione tecnica di edificio per civile abitazione in calcestruzzo armato in zona sismica

Introduzione

Il termine “relazione di calcolo”, anche se usatissimo, già induce in qualche modo in errore. Nel DM 14 settembre 2005, nel seguito DM2005, troviamo finalmente un intero capitolo, il capitolo 10, relativo appunto alla norme per la redazione dei progetti esecutivi. In questo capitolo si fa un po’ di chiarezza sull’argomento. Diciamo subito che il progetto esecutivo, sotto il profilo della pratica realizzazione, contiene sia elaborati di testo che elaborati grafici. Purtroppo nel DM citato non troviamo una terminologia per distinguere questi due tipi di elaborati. In questo Percorso ci occuperemo degli elaborati di testo. Come chiamarli? La “Relazione di calcolo” è infatti UNO degli elaborati di testo richiesti e questo è molto corretto infatti vi sono parti degli elaborati di testo che poco hanno a che fare con il calcolo vero e proprio. Troviamo in questo una conferma ed attente a quanto da tempo sosteniamo: la relazione di calcolo nel suo insieme non è e non può essere, almeno che non la si voglia snaturare, il prodotto di un programma di calcolo strutturale. Vi è stata una confusione sgradevole su questo punto, speriamo che con il DM citato si abbia un po’ di chiarezza. Nel seguito di questo percorso chiameremo “Relazione Tecnica” l’insieme degli elaborati di testo che fanno parte del progetto esecutivo.

L’automazione della Relazione Tecnica: EasyQuill

Questo percorso non è solo dedicato a descrivere la nostra opinione sui contenuti e sul modo di redigere una Relazione Tecnica ma riflette anche la nostra posizione sulla automazione della relazione tecnica tramite il nostro programma EasyQuill. EasyQuill è stato completamente riscritto recentemente ed è un programma che potremmo chiamare di “assemblaggio logico” di testi in quanto si basa su degli schemi, i template, che vengono dinamicamente configurati tramite l’interazione con l’utilizzatore e con altre fonti di informazione. Quindi è un sistema il cui contenuto non è statico ma flessibile e adattato alle esigenze non solo dell’utilizzatore ma anche della situazione. Abbiamo visto relazioni e tecniche prodotte da programmi di calcolo che, non potendo discernere il tipo di struttura che si stava trattando, producevano dei testi che comprendevano ogni possibile situazione. Questo non è accettabile e questo non sarà mai il prodotto di EasyQuill. Quindi questo Percorso descrive come riteniamo si debba, in generale, redigere una relazione tecnica e come

tale relazione tipo sia possibile redigerla in automatico con EasyQuill. Ovviamente questo Percorso non è un manuale d'uso di EasyQuill e ha valenza del tutto generale. La relazione tecnica qui trattata, come già detto, riguarda specificatamente un edificio di civile abitazione in calcestruzzo in zona sismica progettato secondo la recente normativa. Teniamo a precisare che invece EasyQuill potendo manipolare testi in genere, non ha alcun limite tipologico di utilizzo e, dotato degli opportuni schemi, anche redatti dall'utente, può automatizzare la stesura di qualsiasi documento che sia basato su una struttura del testo standardizzabile.

Gli intenti di questo percorso

In questo Percorso non intendiamo scrivere una Relazione Tecnica e fornire un testo, ma fare essenzialmente due cose: tratteggiare una possibile struttura della relazione tecnica in modo più dettagliato di quanto non faccia il DM2005 e approfondire quei capitoli della relazione di calcolo più strettamente legati al calcolo automatico delle strutture e che hanno contenuti relazionati alla struttura che si sta progettando e quindi a contenuto “variabile”.

Per questo motivo abbiamo preso come oggetto della relazione una struttura in zona sismica in calcestruzzo armato progettata in “alta duttilità”. Quest'ultima scelta è dettata dal fatto che questo tipo di situazione richiede verifiche più complesse e quindi, comprende anche quella per bassa duttilità. Inoltre, salvo specifiche verifiche, la struttura e gran parte dei contenuti di questa relazione possono estendersi a molte tipologie strutturali e anche a molte normative.

Gli altri nostri Percorsi sono più “progettuali” e più legati all'uso dei nostri programmi. Perché allora questo Percorso? Non intendiamo assolutamente appropriarci di compiti non nostri come quello di dare suggerimenti interpretativi della normativa. Il fatto è che, dal punto di vista della progettazione del nostro software, una componente del progetto è proprio l'esigenza del progettista di documentare adeguatamente il suo progetto ovvero, in pratica, di redigere la Relazione Tecnica. Quindi questo Percorso è il risultato delle nostre valutazioni nel progettare tutti i componenti del nostro software che siano finalizzati a produrre dati utilizzabili nella documentazione del progetto. Pertanto questo percorso “fotografa” la nostra posizione su tale argomento con due scopi: quello di consentire di verificare, a chi volesse eventualmente utilizzare il nostro software, se è idoneo alle sue specifiche esigenze e quello di dare a chi lo utilizza la possibilità di raggiungere i suoi scopi di produttività nel modo migliore.

I testi che proponiamo sono visualizzabili su EasyQuill in quanto rendiamo disponibile uno schema (template) di questa relazione come qui proposta che è visualizzabile anche nella versione dimostrativa del programma che è limitata solo nella stampa e nel salvataggio del testo finale ma consente la visualizzazione dei testi finali e tutte le operazioni anche di programmazione di un proprio template.

Pertanto il testo finale della Relazione qui proposta non è riportata in questo Percorso.

Riflessioni sulla normativa di riferimento

La normativa di riferimento è la OPCM 3274. In tale normativa si fa spesso riferimento a valutazioni che a nostro avviso sono possibili solo su un modello strutturale che prevede solo impalcati orizzontali infinitamente rigidi e sostanzialmente l'uso della tecnica del “master slave” riducendo il problema a quello di un modello “a stick” come si diceva alla fine degli anni ‘70. Ad esempio la valutazione sulla necessità di effettuare una analisi dinamica che tenga conto degli effetti del secondo ordine si può fare, seguendo la normativa, solo riducendo il problema a tale modello. Così la valutazione delle regolarità in altezza con il suo concetto di “rigidezza di piano”, svela di essere pensata su un modello di tipo stick. Fare una tale valutazione per modelli diversi è sì possibile ma onerosa rispetto ai risultati. Oltretutto se non si pensa in termini di “stick” certe verifiche si potrebbero forse fare in modo più generale e con maggiore affidabilità e applicabilità anche a strutture con concezione più complessa ma la normativa, essendo cogente, non lascia liberi di usare metodo alternativi se non assumendosi ulteriori indesiderate incombenze.

La nostra posizione in merito, sempre relativamente alla relazione di calcolo ed assunta dopo non poche perplessità, è quella di considerare il modello libero come lo si desidera e di fornire degli strumenti accessori per “estrapolare” dal modello i parametri richiesti dalla normativa per queste verifiche. Sostanzialmente non ci imponiamo modellazioni limitative ma diamo egualmente la possibilità di applicare la normativa. Del resto il significato delle verifiche cui abbiamo fatto cenno non sono così accurate e stringenti da non consentire di essere effettuate tramite estrapolazioni che comunque hanno la stessa validità di quelle fatte su modelli che abbiano davvero tali caratteristiche.

Quindi nel seguito, per l'automazione di alcune funzioni inerenti tali verifiche si farà ricorso a plug-in basati sui criteri anzidetti.

Una riflessione di fondo

Una volta, ma molti anni fa, esisteva il “fascicolo dei calcoli” che poteva o meno essere allegato alla relazione di calcolo e che raccoglieva la stesura di tutti i calcoli effettivamente eseguiti per giungere ai risultati numerici esposti in sintesi nella relazione. Questo serviva per controllare se i metodi e le operazioni aritmetiche fossero corretti. Ora, con l'avvento dell'elaboratore, questo tipo di esposizione è superfluo e meglio sostituito da stampe dei risultati ed esposizione teorica dei metodi da allegare eventualmente alla relazione tecnica. Vi è in alcuni professionisti la tendenza a documentare analiticamente il modo in cui certi risultati numerici sono stati ottenuti. Francamente riteniamo che certe esposizioni numeriche siano superflue e poco leggibili rispetto alla funzione fondamentale della relazione tecnica che è quella di dire cosa si è voluto ottenere e dimostrare se lo si è ottenuto: i passaggi numerici di questo iter sono francamente non necessari anche perché con una elaborazione elettronica sono i calcoli più basilari e fondamentali che non possono e non vengono documentati. Ad esempio le matrici di rigidezza degli elementi finiti impiegati. Quindi documentare calcoli secondari e banali come, solo per un esempio, il modo in cui si è calcolato lo spostamento accidentale del baricentro delle masse o il torcente di piano, ci pare abbastanza puerile. In questo Percorso si seguirà l'approccio che abbiamo chiamato “sintetico” in contrapposizione con la stesura invece “analitica” dei singoli passaggi logici o di calcolo.

La struttura della Relazione Tecnica

Chiameremo Relazione Tecnica il complesso di testi che fanno parte del progetto esecutivo. Seguiamo il DM2005 per descrivere la struttura della Relazione Tecnica.

- Relazione generale
- Relazione di calcolo
- Relazione sui materiali
- Relazioni specialistiche

Questi sono i punti che qui tratteremo in quanto gli altri elaborati di testo contemplati sono degli allegati specialistici o comunque non relativi alle fasi di produzione automatica delle parti del progetto che interessano la nostra specifica attività.

La Relazione Generale

Lo scopo della Relazione Tecnica nel suo complesso è quello di documentare

il processo progettuale. Spesso viene invece pensata come una raccolta di elementi di “verifica” dimenticandosi di esporre “cosa” si intende verificare. L’atto di progettare è costituito da una serie di scelte che vogliono soddisfare al meglio dei requisiti. Quindi si devono documentare questi atti decisionali e il supporto logico, di calcolo, di esperienza, di sperimentazione che ha supportato queste scelte rendendole plausibilmente idonee a soddisfare i requisiti.

Molto bello, a tal proposito, il modo di stendere le relazioni nelle quali vengono presentate anche le ipotesi che non hanno avuto un seguito progettuale. Questo per spiegare e per poter ricostruire a futura memoria tutto l’iter che ha portato al progetto finale.

In quest’ottica la Relazione Generale è fondamentale in quanto definisce gli obiettivi del progetto. Infatti, insieme alla successiva parte, che il DM2005 pone nella Relazione di Calcolo e che deve contenere “i criteri alla base della concezione strutturale”, costituisce la descrizione completa dell’iter progettuale. Solo in seguito si produrranno le verifiche alle ipotesi progettuali quale giustificazione della loro validità.

Questa parte della Relazione Tecnica, a meno di non snaturarla in una descrizione burocratica con elencazione di elementi banali quali, a esempio, il numero dei piani e così via, NON PUO’ ESSERE AUTOMATIZZATA. Se si desidera adottare descrizioni banali, EasyQuill consente di definire un proprio testo e eventualmente di completarlo in automatico con dati richiesti all’utente come appunto il numero di piani etc. Ma in questo Percorso suggeriamo che questa parte sia redatta dal progettista in modo chiaro e preciso, sostenibile.

Relazione di calcolo

La relazione di calcolo del DM2005, secondo una struttura logica che condividiamo in pieno, è composta dai seguenti documenti o parti di un singolo documento. I titoli dei singoli documenti sono un nostro suggerimento e sono quelli suggeriti anche nel template di EasyQuill, li riportiamo facendoli seguire dalla descrizione dei contenuti prevista dal DM2005. Ogni punto sarà trattato diffusamente nel seguito.

Concezione strutturale

Contiene i criteri alla base della concezione strutturale.

Normative di riferimento

Contiene le normative prese a riferimento

Misure di sicurezza

Contiene i criteri adottati per le misure di sicurezza

Schematizzazione della struttura

Contiene i criteri adottati per la schematizzazione della struttura, dei vincoli, delle sconnessioni; particolare attenzione sarà dedicata alla interazione tra terreno e struttura.

Azioni

Contiene la schematizzazione delle azioni nonché le condizioni e le combinazioni di carico considerate.

Legami costitutivi

Contiene la descrizione dei legami costitutivi adottati per la modellazione dei materiali e dei terreni.

Rappresentatività del modello

Contiene le motivazioni circa la rappresentatività del modello utilizzato, tenendo conto anche dell'eventuale successione di diverse fasi costruttive, di variazioni di schemi di vincolo etc.

Metodologie di analisi

Contiene la descrizione delle metodologie utilizzate per l'analisi strutturale.

Metodologie di progetto delle membrature strutturali

Contiene la descrizione delle metodologie di progetto e di verifica degli elementi strutturali.

Presentazione dei risultati

Contiene in forma sintetica la esposizione dei risultati delle analisi.

Sicurezza degli elementi strutturali

Contiene in forma sintetica la esposizione degli elementi che consentono di verificare la rispondenza degli elementi strutturali ai requisiti di sicurezza.

Un capitolo, previsto dal DM2005 riguarda inoltre le prestazioni attese al collaudo. Questo capitolo, a meno che non lo si riduca alle deflessioni dei solai per il collaudo, è molto specifico e legato alle esigenze dell'opera e quindi in questo percorso non lo tratteremo.

Relazioni sui materiali

Questa è una parte puramente elencativa e descrittiva dei materiali previsti e quindi non richiede particolari approfondimenti. Nel template di EasyQuill è facilmente automatizzata su un modello standard dove la variabilità delle caratteristiche dei materiali impiegati è un dato di ingresso richiesto a dialogo all'utente.

Relazioni specialistiche

Tra le relazioni specialistiche previste dal DM2005, l'unica che ci pare attinente al Percorso che stiamo facendo è quella geotecnica. Essa prevede valutazioni soprattutto sulla resistenza del suolo assunta per il progetto. Alcuni inseriscono in questa relazione anche la verifica delle fondazioni. Noi non siamo di questa idea in quanto ci pare che questa relazione debba essere puramente geotecnica e la verifica della sicurezza degli elementi di fondazione sia invece più opportunamente da inserirsi appunto nel capitolo inerente tali verifiche. E in questo Percorso la tratteremo appunto in tale capitolo. Nulla vieta, ovviamente, di cambiare la struttura del testo da noi proposta.

Uso di programmi di calcolo

Il DM2005, se non sbagliamo, è il primo testo di legge che si accorge che vengono usati i calcolatori elettronici nel progetto strutturale e ne fa menzione. Non commentiamo in questa sede certi aspetti del normativa che prevedono, e forse impongono, l'uso del calcolatore in modo però molto discutibile in quanto ne impongono un modello d'uso limitando così in gran parte le potenzialità di sviluppo del progetto automatico delle strutture. Vi sono alcuni aspetti che però condividiamo e che si riflettono soprattutto sulla documentazione che il progettista deve produrre.

Sinteticità

Finalmente una norma, il DM2005, parla di sinteticità della presentazione. Una ossessione ingiustificata quella di dover riportare i risultati di TUTTE le verifiche di TUTTE le possibili occorrenze di una struttura quando è sufficiente esporre in generale il metodo che si usa nelle verifiche e i dati salienti relativi agli elementi più significativi. Poi, soprattutto ora che si usano programmi di calcolo che agiscono ragionevolmente in modo uniforme su tutta la struttura, la documentazione dei soli elementi più significativi ci pare utile anche per chi deve controllare eventualmente gli elaborati.

Tutto EasyWorld ha funzioni dedicate alla rappresentazione grafica dei livelli di sicurezza. Quindi, a nostro avviso, uno o più immagini di grafici o di map-

pature di colore sono ideali per assolvere alle esigenze della Relazione Tecnica, fermo restando che è sempre possibile produrre, ma come allegati, le stampe di tutto ciò che si desidera. I post-processor di Nòlian dedicati al progetto e alla verifica di elementi strutturali hanno poi la possibilità di effettuare stampe sintetiche e discorsive, quindi prive di simbologia che può risultare ostica, effettuate in automatico solo per gli elementi più significativi secondo criteri assegnati dall'utente. In questa esposizione e nella relazione automatizzata con EasyQuill che qui seguiamo, si farà larghissimo uso di immagini dei livelli di sicurezza.

Ripetibilità

La "ripetibilità", e cioè la possibilità che con i dati contenuti nella documentazione del progetto chiunque possa ripercorrere il percorso di progettazione per verificarne l'attendibilità, appare in contrasto con la richiesta di sinteticità. Eppure questo è un requisito espressamente richiesto dal DM2005. Il nostro punto di vista è che mentre la Relazione Tecnica propriamente detta deve essere sintetica in modo che con molta chiarezza si possano capire le decisioni e le motivazioni del progettista, vi devono essere degli allegati che descrivano in modo completo il modello, o modelli, di calcolo. Quest'ultimo punto non è rispettato da molti programmi, non certo di EasyWorld, e invece dovrebbe esserlo. Per quanto ci riguarda, i nostri programmi stampano, o registrano in formato testo, le descrizioni complete del modello di calcolo. Nel caso poi di Nòlian, che usa il metodo degli elementi finiti, la descrizione del modello è abbastanza standardizzata. Purtroppo nessuno ha mai prodotto uno standard di descrizione di questi dati, che sarebbe comodissimo, ma nel caso del modello a elementi finiti, i dati sono abbastanza ben organizzati per cui la descrizione del modello non richiede interpretazioni e non pone dubbi. Quindi, per questo aspetto, noi consigliamo di redigere la Relazione Tecnica con il criterio della sintesi e poi allegare i dati e i risultati prodotti dai vari programmi come documentazione completa del modello. Anche qui vediamo come sia netta la distinzione tra la produzione di documentazione da parte dei programmi di calcolo e la documentazione della Relazione Tecnica vera e propria che, ripetiamo è solo parzialmente automatizzabile.

Affidabilità

Il DM2005, sulla traccia di quanto già esposto in una Istruzione CNR del 1986, impone che si riportino nella Relazione il nome e le caratteristiche identificative dei programmi usati nonché gli estremi della licenza d'uso del progettista. E' responsabilità del progettista sia verificare la affidabilità del programma sia la sua applicabilità al problema che si deve affrontare. Cioè, non si tratta solo di un problema di "qualità" del software ma soprattutto di appli-

cabilità che il progettista deve verificare ed eventualmente dimostrare. Se, a esempio, si ha una struttura con tetti a falde e quindi spingenti e si usa un programma che contempla solo piani infinitamente rigidi, tale programma non sarà idoneo, non inaffidabile, ma non idoneo al problema che si vuole approfondire. Se il progettista intende usarlo deve dire come ha superato il limite e che tipo di approssimazioni ciò può comportare.

La Softing ha prodotto un documento di Affidabilità dove, oltre alle informazioni identificative del prodotto riporta sinteticamente i controlli effettuati per assicurare, nei limiti dei metodi e delle tecnologie correnti, l'affidabilità del prodotto. Noi suggeriamo di allegare questo documento, così come è, alla relazione di calcolo.

Ci sarebbe ancora da dire sulla legittima acquisizione del software e sull'uso dell'ultima versione disponibile. Questo è un aspetto che stiamo valutando sotto due aspetti. Fornire, da una parte, una sorta di certificato agli utilizzatori che attesti la legittima acquisizione della licenza d'uso e la eventuale sussistenza di un contratto di aggiornamento che garantisca il migliore adeguamento del software. Dall'altra parte, "sensibilizzare" gli Uffici Pubblici preposti, al rispetto della nuova normativa e alla necessità che controllino che la licenza d'uso del software impiegato sia legittimamente acquistata da chi presenta i progetti.

I punti che approfondiremo

I punti da approfondire in quanto relazionati più strettamente con il calcolo automatico della struttura o perché in certi aspetti meno chiari, sono quelli contenuti nella Relazione di Calcolo che, ripetiamo, è solo una delle parti di quel complesso di documenti che abbiamo chiamato Relazione Tecnica. Qui li analizziamo brevemente. Alcuni capitoli li definiremo dei "testi standard" intendendo con ciò che non necessitano di particolari elaborazioni o ristesure dipendenti dalle particolarità del progetto. Altri capitoli, più complessi, li analizzeremo invece più approfonditamente in seguito.

Concezione strutturale

Contiene i criteri alla base della concezione strutturale. Come già detto è una descrizione che sfugge a una seria automazione e quindi, oltre le possibilità di EasyQuill di automatizzarla almeno in parte per strutture tipiche, non necessita di ulteriori approfondimenti. Uno dei compiti principali dello strutturista è proprio quello di "concepire" una struttura e quindi non è nostro compito sostituirci in questo a lui.

Normative di riferimento

Contiene le normative prese a riferimento. Si tratta di un banale elenco e quindi anche qui non è necessario soffermarci. Ripetiamo che nei template di EasyQuill, visionabili anche con la versione dimostrativa del programma, questi testi sono tutti presenti.

Misure di sicurezza

Contiene i criteri adottati per le misure di sicurezza. Questo capitolo a nostro avviso, perché la sua denominazione è abbastanza generica, raccoglie i criteri e i fattori di sicurezza sui materiali e sui procedimenti. Sostanzialmente i fattori di sicurezza adottati sul comportamento dei materiali e adottati nei vari metodi di calcolo. Anche questo testo, essendo più che altro una esposizione, non richiede una trattazione più approfondita.

Schematizzazione della struttura

Contiene i criteri adottati per la schematizzazione della struttura, dei vincoli, delle sconnessioni; particolare attenzione sarà dedicata alla interazione tra terreno e struttura. Per questo punto vale quanto già detto per la Concezione strutturale.

Azioni

Contiene la schematizzazione delle azioni che agiscono sulla struttura nonché le condizioni e le combinazioni di carico considerate. Questo punto sarà oggetto di un approfondimento del seguito.

Legami costitutivi

Contiene la descrizione dei legami costitutivi adottati per la modellazione dei materiali e dei terreni.

Anche questo testo è abbastanza standard. Con EasyQuill è possibile configurare il template standard in cui, assegnati i valori di base, si possono ottenere, se lo si desidera, i calcoli e l'esposizione dei valori derivati. Per il terreno, in genere si usa un legame costitutivo lineare. Nòlian ha elementi elastoplastici, ma non è questo il caso in cui li useremo, e quindi riteniamo che, comunque vada riportato, il legame costitutivo adottato per il terreno sarà elastico lineare, generalmente non monolatero. Quindi per questo testo si rimanda agli esempi su EasyQuill.

Rappresentatività del modello

Contiene le motivazioni circa la rappresentatività del modello utilizzato, tenendo conto anche dell'eventuale successione di diverse fasi costruttive, di

variazioni di schemi di vincolo etc. Anche per questo punto riteniamo questo valga quanto già detto per la Concezione strutturale:

Metodologie di analisi

Contiene la descrizione delle metodologie utilizzate per l'analisi strutturale. Generalmente, salvo casi particolari, anche questo è un testo standard. EasyQuill, eventualmente è in grado di leggere da un file di Nòlian quali analisi sono state effettuate per riportarle in questo capitolo in automatico. Le caratteristiche tipiche dei metodi usati sono descrizioni standard che sono contenute nei template predisposti di EasyQuill e quindi non necessitano di approfondimenti sulla loro redazione.

Una riflessione a parte merita il fatto che le analisi che si è scelto di effettuare possano essere dovute a considerazioni preliminari o ai risultati di analisi sul modello. E' il caso a esempio degli effetti del secondo ordine sia in analisi statica che dinamica. In questo capitolo si deve, a nostro avviso, giustificare il metodo di analisi impiegati e la motivazione del loro impiego.

Metodologie di progetto delle membrature strutturali

Contiene la descrizione delle metodologie di progetto e di verifica degli elementi strutturali. Vale quanto detto per le metodologie di analisi.

Presentazione dei risultati

Contiene in forma sintetica la esposizione dei risultati delle analisi.

Sicurezza degli elementi strutturali

Contiene in forma sintetica la esposizione degli elementi che consentono di verificare la rispondenza degli elementi strutturali ai requisiti di sicurezza.

Gli argomenti che approfondiremo nel seguito indicando i dati forniti dai programmi di analisi, di progettazione e di verifica di EasyWorld e la possibilità di elaborarli da parte di EasyQuill sono i seguenti:

- Azioni
- Presentazione dei risultati
- Sicurezza degli elementi strutturali

Come si vede, gli argomenti che è utile approfondire sono quelli strettamente relativi alla elaborazione automatica che è quanto più, nel nostro ruolo, ci compete e che richiede la maggiore attenzione per un uso valido e produttivo dei programmi anche al fine della redazione della relazione di calcolo.

Infatti gli altri elementi della Relazione Tecnica che abbiamo definito standard o a cura del progettista poco competono all'uso dei programmi di analisi, progetto e verifica.

La struttura della Relazione Tecnica

Riportiamo la struttura della Relazione Tecnica come qui l'abbiamo descritta.

- 1 Elenco allegati
- 2 Relazione Generale
- 3 Relazione sui materiali
- 4 Relazione di calcolo
 - 4.1 *Concezione strutturale*
 - 4.2 *Normative di riferimento*
 - 4.3 *Unità di misura e simbologia*
 - 4.4 *Documenti e testi di riferimento*
 - 4.5 *Misure di sicurezza*
 - 4.6 *Schematizzazione della struttura*
 - 4.7 *Azioni (Capitolo approfondito in seguito)*
 - 4.8 *Legami costitutivi*
 - 4.9 *Rappresentatività del modello*
 - 4.10 *Metodologie di analisi*
 - 4.11 *Metodologie di progetto delle membrature strutturali*
 - 4.12 *Presentazione dei risultati (Capitolo approfondito in seguito)*
 - 4.13 *Sicurezza degli elementi strutturali (Capitolo approfondito in seguito)*
- 5 Allegati
 - 5.1 *Affidabilità degli strumenti di calcolo*
 - 5.2 *Risultati numerici delle elaborazioni*

Gli approfondimenti

In quest'ultimo capitolo approfondiremo i punti più complessi della relazione tecnica per quanto attiene al "calcolo" della struttura eseguita con elaboratore.

Azioni

Classificazione

Nella esposizione delle azioni sulla struttura proponiamo di seguire la classificazione secondo la risposta strutturale dividendole in due prime grandi categorie:

- Statiche
- Dinamiche

Essendo ovviamente le prime quelle che non provocano, quando applicate, sensibili accelerazioni alla struttura.

Le prime, per avere un ordine utile anche a evitare omissioni nella esposizione, le classificheremo secondo la loro variazione di intensità nel tempo. Quindi avremo il seguente elenco dove in corsivo sono le azioni che non verranno trattate in questo percorso.

Azioni permanenti e variabili di lunga durata:

- a) peso proprio della struttura
- b) peso delle sovrastrutture
- c) pressione del terreno
- d) pressione dell'acqua
- e) spostamenti imposti
- f) pretensione e precompressione
- g) ritiro e viscosità

Variabili a lunga durata:

- a) pesi propri di elementi non strutturali
- b) pesi di oggetti e cose disposti sulla struttura
- c) carichi di esercizio di lunga durata

Variabili a breve durata:

- a) carichi di esercizio di breve durata
- b) azione del vento
- c) azione della neve
- d) variazioni termiche ambientali
- e) azioni dei fluidi

Tra queste azioni è compresa anche quella sismica che però noi tratteremo a parte come azione dinamica.

Accidentali

Si faccia attenzione che nell'uso corrente si definiscono "accidentali" i carichi che sono invece definiti dalle norme "variabili". I carichi accidentali sono quelli invece da urto, esposizione e incendio.

NOTA: Non verranno trattati in questo percorso.

Esposizione delle azioni statiche

Per ogni tipologia di carico va eseguita una valutazione analitica cioè considerando tutte le componenti elementari (analisi dei carichi) e indicando nei casi ove occorra gli elementi (disposizione, altimetria etc.) che concorrono alle valutazioni dei carichi nonché come è stata effettuata la valutazione del carico applicato alla struttura.

Il template di EasyQuill automatizza l'analisi dei carichi usando le informazioni base indicate dall'operatore. Nòlian ha un plug-in per la valutazione del carico da vento.

Riteniamo che in questa fase si possano definire i nomi esatti delle condizioni di carico che si useranno nel seguito e nelle elaborazioni automatiche.

Riteniamo inoltre che la esposizione delle modalità di valutazione dei carichi agenti sulla struttura vada accompagnata da una sintetica visualizzazione dei livelli di carico agenti sulla struttura. Quest'ultima esigenza è facilmente soddisfatta dalle rappresentazioni a colori dei livelli di carico che si hanno in Nòlian. Queste immagini si possono inserire automaticamente nella Relazione.

Sistema di masse corrispondenti alle azioni statiche

Si devono riportare, in questo capitolo, i criteri con i quali il sistema di forze agenti staticamente viene considerato un sistema di masse sul quale agisce l'azione dinamica riportando i moltiplicatori da normativa adottati per la valutazione della parte di carico agente a questo fine.

Azione sismica

In questo Percorso e nella Relazione Tecnica che tratta, si usa il metodo di analisi dinamica con lo spettro di risposta e quindi l'azione dinamica è caratterizzata da uno spettro di risposta: Tale spettro viene valutato sulla scorta di parametri che vanno precedentemente illustrati:

- Caratteristiche del sito
- Classe di duttilità della struttura
- Fattore di struttura
- Regolarità della struttura

Queste informazioni sono, nel caso delle relazione eseguita con il template

EasyQuill, fornite dall'operatore. Il programma provvede a calcolare e graficizzare, se richiesto, gli spettri di risposta corrispondenti. In alternativa è possibile far graficizzare gli spettri di risposta usati nell'analisi e memorizzati nel file del modello della struttura.

Una nota a parte merita la valutazione della regolarità della struttura. Infatti tale valutazione può essere fatta sia in base alle caratteristiche strutturali se con tutta evidenza esse suggeriscono la risposta, o attraverso una valutazione numerica. Se è necessario questo secondo approccio, in Nòlian si sta realizzando un plug-in che esegue tale valutazione e i cui risultati vengono riportati in automatico nella relazione. In questo percorso, assumeremo che la asserzione di regolarità venga fatta dall'operatore.

Presentazione dei risultati

La presentazione dei risultati, a nostro avviso, ha lo scopo di dimostrare la validità delle scelte progettuali effettuate lì dove sia necessario che ciò venga fatto e cioè per quelle soluzioni o particolarità strutturali che richiedano una giustificazione numerica delle scelte operate. L'esposizione dei risultati può anche essere vista come una esposizione esemplificativa dei metodi usati. Sempre a nostro avviso, la documentazione analitica dei risultati numerici relativi a tutta la struttura ha poco senso in quanto è il risultato, ove non vi siano appunto soluzioni particolari, delle scelte professionali di un progettista e quindi la loro documentazione analitica pare abbastanza inutile. Poiché però può essere richiesta da una burocrazia abbastanza arretrata o può voler essere prodotta per depositare il lavoro fatto al fine di accertarsi, con i mezzi disponibili, della validità delle proprie scelte, l'approccio da noi suggerito è quello di riportare sinteticamente nella relazione di calcolo i risultati più significativi documentandoli soprattutto con immagini di mappe di colori, di diagrammi, di immagini simboliche. E poi, eventualmente, allegare tutti i risultati in forma numerica prodotti dai programmi di calcolo.

I risultati che, a nostro avviso, vanno riportati in forma sintetica sono i seguenti.

Risultati delle analisi

Devono essere riportati i risultati dell'analisi modale e spettrale in termini di periodi e coefficienti di massa eccitata. Immagini delle forme modali. Si rimanderà all'allegato della stampa dei risultati prodotti dal programma di analisi (Nòlian) per la documentazione completa sia del modello numerico che dei risultati ottenuti.

I risultati delle “verifiche “ di sicurezza e stabilità delle membrature strutturali sono invece raccolte nel capitolo “Sicurezza degli elementi strutturali”.

Sicurezza degli elementi strutturali

In questo capitolo vanno riportate:

1. Combinazioni delle azioni
2. Verifiche stato limite di danno
3. Verifiche stato limite ultimo
4. Verifiche stato limite di esercizio

Combinazione delle azioni

Vanno illustrati i metodi utilizzati per fare le combinazioni delle azioni al fine delle verifiche.

Stato limite di danno

Riportare, sempre come immagine a colori, gli spostamenti differenziali e i valori numerici dei valori massimi di spostamento.

Stato limite ultimo

Si devono riportare le verifiche di resistenza delle sezioni.

1. Massima deformazione del calcestruzzo
2. Massima deformazione dell'acciaio
3. Coefficiente di sicurezza minimo

Possono essere sintetizzate tramite una rappresentazione a livelli di colore. Ciò è facilmente ottenibile in EasyBeam e la produzione della immagine può essere eseguita automaticamente da EasyQuill.

Stato limite di esercizio

1. Fessurazione
2. Tensioni di esercizio

Possono essere sintetizzate tramite una rappresentazione a livelli di colore. Ciò è facilmente ottenibile in EasyBeam e la produzione della immagine può essere eseguita automaticamente da EasyQuill.

Verifiche per azioni sismiche

1. Duttilità

2. Rapporto resistenza nodo
3. Progetto a taglio per azioni sismiche

Possono essere sintetizzate tramite una rappresentazione a livelli di colore. Ciò è facilmente ottenibile in EasyBeam e la produzione della immagine può essere eseguita automaticamente da EasyQuill.

Risultati numerici delle verifiche nelle sezioni più significative

Si consiglia di riportare, oltre ai dati contenuti e negli allegati (che possono, se lo si desidera, contenere i risultati delle verifiche eseguite su tutte le sezioni desiderate degli elementi della struttura) le verifiche delle sezioni più significative, esposte in modo discorsivo e non tabellare in modo che sia facilmente comprensibile a chi legge la relazione. EasyBeam consente di individuare automaticamente su tutta la struttura le sezioni più significative secondo vari criteri selezionabili dall'operatore (maggiori sollecitazioni, maggiore armatura etc.). I risultati di queste verifiche possono essere riportati in automatico nella relazione prodotta da EasyQuill.

Verifiche geotecniche

Le verifiche di sicurezza degli elementi di fondazione sono riportati, in genere, insieme a quelli degli altri elementi strutturali. Le verifiche geotecniche sono inerenti la stabilità delle fondazioni. Possono essere prodotte immagini mappa di colori delle sollecitazioni sul terreno (ipotesi di Winkler) o si possono riportare le verifiche numeriche degli elementi di fondazione.

PERCORSO 6

Nòlian nell'analisi di struttura intelaiata in calcestruzzo

Oggetto del percorso

Questo percorso riguarda l'analisi e il progetto di una struttura nuova in cemento armato con particolare riferimento alle funzioni e alle assegnazioni di Nòlian ed EasyBeam e costituisce quindi un "Tutorial" al percorso progettuale con tali programmi.

Introduzione

Si assume che il modello della struttura sia già stato costruito essendo questa una operazione piuttosto nota e semplice in Nòlian o in inMod. Sulla modellazione si riporteranno solo dei consigli inerenti l'assegnazione delle masse e degli impalcati.

Il resto del percorso si svolgerà secondo i seguenti punti:

- *Preparazione per le analisi:*
 1. Generazione degli spettri di risposta mediante plug-in
 2. Definizione del torcente di piano
 3. Definizione dei parametri di analisi statica e dinamica
 4. Tipizzazione dei carichi

- *Verifica dei risultati in Nòlian*

- *Salvataggio della struttura*

- *Progetto delle armature con EasyBeam:*
 1. Definizione dei parametri di progetto
 2. Definizione dei fattori di combinazione automatiche di progetto
 3. Definizione dei fattori di combinazione automatiche di servizio.
 4. Procedure per la verifica a video (s.l.u., s.l. esercizio, SLD)
 5. Stampa dei risultati

- *Stampa dei risultati in Nòlian*

Suggerimenti sulla modellazione

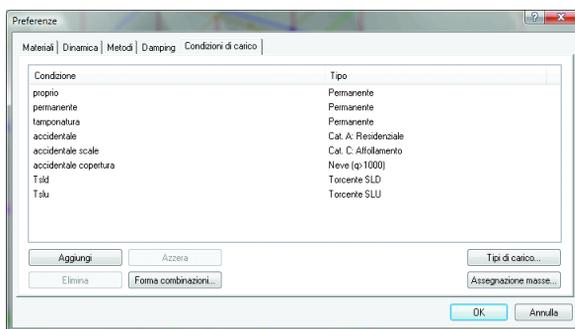
Assegnazione delle masse

In Nòlian la procedura di assegnazione delle masse è molto semplice. Fermo restando che le masse possono essere assegnate ai singoli nodi ed elementi, una procedura automatica, qui descritta, consente di trasformare i carichi già assegnati in masse secondo moltiplicatori assegnati. Tale procedura è qui illustrata.

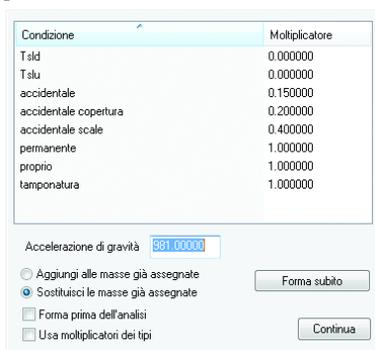
1. Dopo aver assegnato i carichi alla struttura si deve entrare nel dialogo della gestione delle condizioni di carico con doppio click sull'icona della palette:



e si aprirà così il dialogo seguente:



2. Cliccare su “Assegnazione Masse”



3. Assegnate i moltiplicatori a secondo delle condizioni di carico. I moltiplicatori sono unitari per i carichi permanenti e pari ai Ψ_2 moltiplicati per φ per i carichi variabili. Cliccando sul bottone “Forma subito” le masse verranno subito assegnate agli elementi.

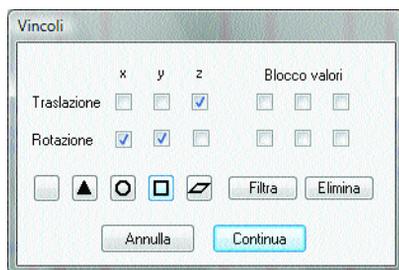
Generazione dei piani rigidi

Qualora si desideri modellare la struttura considerando gli impalcati infinitamente rigidi nel proprio piano, si può usare una relazione cinematica tra nodi detta “Master Slave”. Il nodo master deve essere collocato nel baricentro del sistema di masse.

1. Generare il nodo baricentrico tramite il menu Modifica->Funzioni->Nodo baricentrico e selezionando l'intero piano con il coppia
2. Selezionare l'icona di assegnazione del nodo master



3. Selezionare l'intero piano con il coppia e premere il tasto invio
4. Quindi selezionare il nodo baricentrico precedentemente creato
5. Vincolare il nodo master (baricentrico) su un piano orizzontale XY con la seguente configurazione:



Nella versione attuale (EWS26) la suddetta procedura è stata semplificata mediante una apposita funzione attivabile mediante la sequenza: Menu->Modifica -> Funzioni -> Impalcati rigidi.

Preparazione per l'analisi

Generazione di spettro di risposta mediante plug-in

La generazione dello spettro di risposta può essere effettuata mediante un apposito plug-in di Nòlian selezionabile dal menu Plug-in->Generazione Spettro di Risposta oppure premendo la combinazione di tasti ctrl+shift+z.

Per esempio generiamo lo spettro di risposta inerente la struttura che stiamo analizzando. Si tratta di una struttura a due piani e con 2 campate in direzione Y e 4 in direzione X. Si assume che il suolo sia in categoria A e che la struttura sia regolare in pianta e in altezza.

Nel dialogo per l'immissione dei dati si dovranno inserire tutte queste informazioni ottenendo la seguente configurazione:

Intervalli	32
Durata totale	2.0000000
Tipo spettro	SLU
Categoria suolo	A
Tipologia	Telaio piu' piani piu' campate
Classe duttilità	Alta
Regolarità altezza	Regolare
Componente azione sismica	Orizzontale
Materiale	Calcestruzzo
Risorse duttilità (acciaio)	Duttile
Smorzamento	5.0000000
Fattore q	5.8500000
	<input checked="" type="checkbox"/> Calcola q

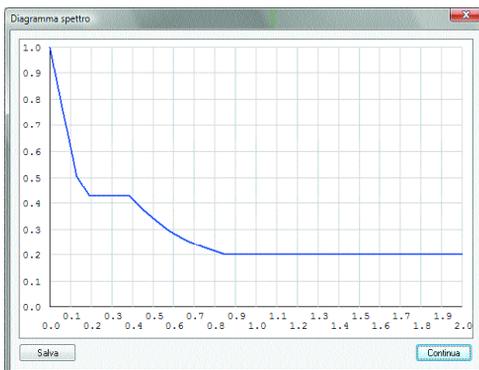
Grafico Salva Continua

Avendo selezionato il check-box “Calcola q” il plug-in calcola anche il fattore q di struttura che in questo caso vale 5,85. Nei campi Intervalli e Durata totale si devono inserire la durata dello spettro (minimo 2 secondi per la OPCM) e il numero di intervalli in cui dividere i 2 secondi di durata totale.

Si otterrà uno spettro con una spaziatura di $2/32 = 0,0625$ sec.

Lo spettro così generato può essere salvato in un file testo premendo il tasto salva e successivamente fatto leggere a Nòlian per il calcolo, premendo il tasto Grafico il plug-in visualizzerà il grafico dello spettro che potrà essere salvato come immagine da inserire nella relazione di calcolo.

Nella figura che segue vediamo il diagramma dello spettro che abbiamo appena generato.



Una volta generato e salvato lo spettro per lo stato limite ultimo si farà la stessa operazione per lo stato limite di danno.

Si consiglia di salvare gli spettri di risposta nella cartella di Nòlian denominata File ausiliari -> Spettri o all'interno della cartella del progetto in modo da avere una traccia degli spettri utilizzati per una determinata struttura anche dopo molto tempo.

Il file potranno essere denominati in modo da ottenere un facile riconoscimento. Ad esempio: spettro_sl_u.txt e spettro_sl_d.txt.

Si fa notare che Nòlian usa spettri di risposta su file di testo per consentire la massima flessibilità di utilizzo in quanto tali file possono essere diversi tra loro e impiegati più volte e liberamente inoltre possono essere anche formati con molta semplicità dal progettista che abbia bisogno di spettri particolari (a esempio per normative diverse da quelle più comunemente impiegate) o modificati per esigenze progettuali. In ogni caso i dati dello spettro usati nell'analisi sono memorizzati nel documento della struttura in modo che i valori possano essere stampati in qualsiasi momento senza bisogno che esista ancora il file spettro originale.

Impiego del momento torcente di piano

Se si sta operando con la OPCM o con gli Eurocodici è necessario tenere conto delle eccentricità accidentale delle masse. Per esempio l'OPCM richiede che si tenga in conto una eccentricità del 5%. Il nostro consiglio è quello, ammesso dalla normativa, di impiegare un momento torcente di piano che sia equivalente alla azione determinata dalla eccentricità delle masse. Infatti altrimenti si dovrebbero considerare ben 4 possibili decentramenti delle masse e quindi eseguire ben 4 distinte analisi dinamiche accompagnate dalle relative combinazioni delle sollecitazioni. Con il torcente di piano questo iter diviene molto più agevole.

Tale procedura è inoltre molto semplificata dall'ausilio del plug-in di Nòlian "Torcente di piano" che può essere richiamato dal menu Plug-in->Torcente di piano oppure premendo la combinazione di tasti ctrl+shift+N.

Prima di attivare il plug-in, occorre generare 2 condizioni di carico specifiche alle quali saranno affidati i torcenti di piano: una inerente lo stato limite ultimo, e l'altra inerente lo stato limite di danno, nel nostro esempio le denomineremo: T_sl_u e T_sl_d.

Questo si ottiene come segue:

1. Cliccare due volte sulla palette dei carichi distribuiti o uniformi
2. Inserire i nomi suddetti nel campo in basso
3. Cliccare su aggiungi.
4. Controllare che i nomi delle condizioni siano apparsi nel campo superiore
5. Cliccare su ok

Fatto ciò, attiva re il plug-in per l'assegnazione del torcente di piano. Si accede così al dialogo:



dove va scelta la condizione al quale applicare il torcente di piano. Il valore dello spostamento delle masse in percentuale, la direzione (0=X, 90=Y, 180=-X, 270=-Y), e il moltiplicatore.

Il moltiplicatore M è una parte molto importante e delicata del processo. La normativa ammette un metodo di calcolo semplificato di tale parametro ma, visto che i tempi di calcolo con Nòlian sono molto ridotti, il nostro consiglio è quello di usare la formulazione più accurata che qui illustriamo.

Il valore del moltiplicatore è dato da:

$$M = S_d(T_1)\lambda a_g/g$$

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta corrispondente al primo periodo della struttura. Tale valore può essere letto dallo spettro di risposta calcolato con il plug-in. Il valore del primo periodo si può ottenere facilmente analizzando preventivamente la struttura.

λ è un coefficiente pari a 0,85 se l'edificio ha almeno tre piani e se $T_1 < 2 T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi.

a_g/g , si ricorda, è dato dalla normativa e vale:

0,35 in zona 1

0,25 in zona 2

0,15 in zona 3

0,05 in zona 4

Nel nostro caso il primo periodo proprio della struttura è 0,58.

Periodi propri e masse relative

Analisi: (1)_147

Modo: 1 Periodo (sec): 0.58766170

Masse modali relative			
x	y	z	s
0.92642373	0.00017575	0.00000000	0.46329974
Masse modali relative totali			
0.99894478	0.99803423	0.00000000	0.99848951

Continua

Quindi considerando che la struttura è in categoria 1 e ha tre piani si ha:

$$a_g/g=0,35$$

$$\lambda=1$$

$$s_d(0,58) = \sim 0,3 \text{ per lo stato limite ultimo (vedi figura paragrafo precedente)}$$

Il coefficiente da adottare nel caso dello stato limite ultimo è quindi $M = 0,105$.

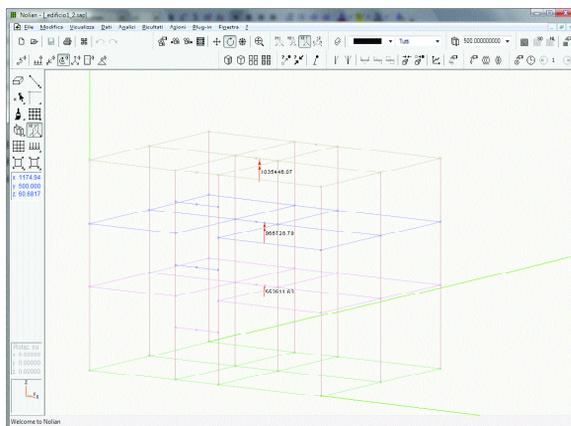
La stessa procedura si applicherà per lo stato limite di danno.

Selezionando la opzione “massimo ortogonali” il plug-in calcolerà, a favore di sicurezza, il massimo valore del momento torcente. Sarà così possibile avere un'unica condizione di torcente di piano.

Selezionando il bottone Continua il momento torcente verrà automaticamente applicato ai nodi master. Qualora si volessero visualizzare tali momenti si può cliccare sull'apposito pulsante di visualizzazione



ottenendo la rappresentazione seguente:

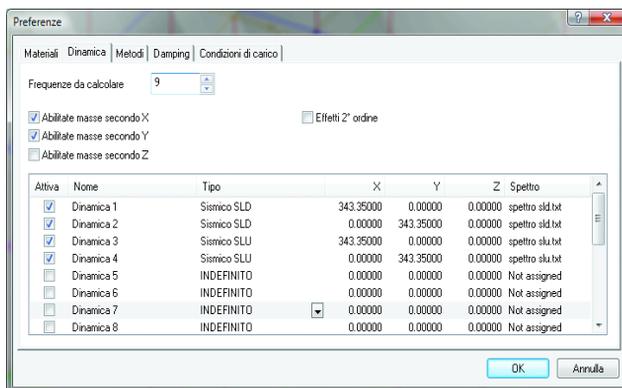


Visualizzazione del momento torcente di piano

Procedura per la definizione dei parametri dinamici

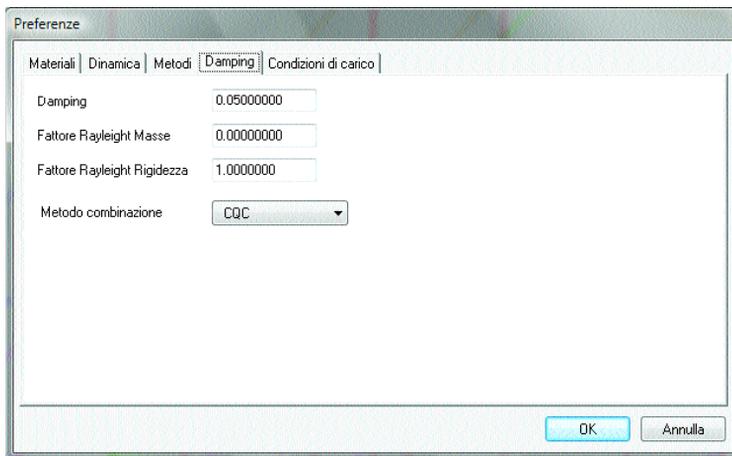
Prima di effettuare l'analisi dinamica modale della struttura con la tecnica dello spettro di risposta, è necessario inserire i valori di accelerazione al piede della struttura. Per fare questo:

1. Attivare il menu Analisi -> Opzioni
2. Selezionare la scheda Dinamica



3. Assegnare le frequenze da calcolare. Generalmente, visto l'uso dei piani rigidi, il numero di frequenze da calcolare è pari a 3 per ogni piano quindi in questo caso pari a 9

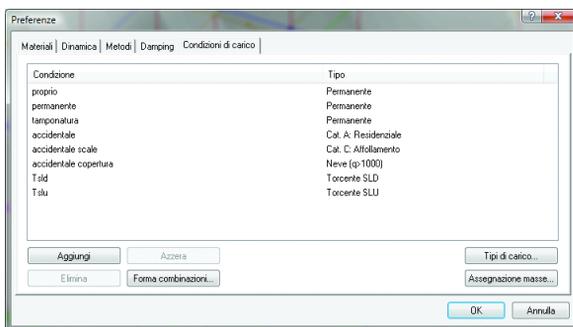
4. Abilitare le masse nelle direzioni X e Y. Si dovranno abilitare anche secondo Z nel caso di strutture con presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, di elementi principali precompressi, di elementi a mensola, di strutture di tipo spingente, di pilastri in falso, edifici con piani sospesi.
5. Inserire i valori di accelerazione spettrale pari ad a_g (nel nostro caso $a_g = 0,35 \cdot 981 = 343,35 \text{ cm/sec}^2$).
6. Assegnare il percorso del file dello spettro di risposta cliccando con il pulsante destro del mouse e selezionando “scegli file”
7. Passare alla scheda Damping e selezionare il metodo di combinazione che può essere SRSS ovvero CQC a seconda dell’esistenza o meno di modi aventi un periodo di vibrazione molto ravvicinato con uno scarto minore del 10%. Selezionando il metodo CQC non si dovrà controllare lo scarto tra i periodi anche se l’onere computazionale è leggermente superiore.



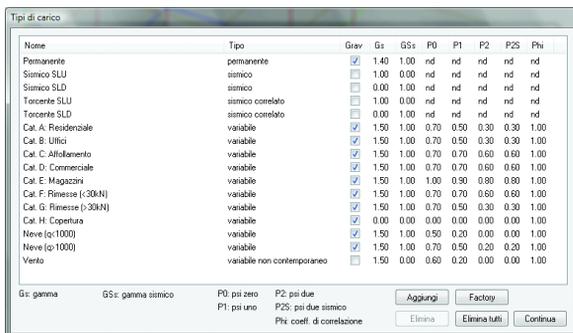
Tipizzazione dei carichi

Dopo aver definito i parametri dinamici passiamo alla definizione dei tipi di carico necessaria al programma per ottenere in modo automatico le combinazioni di carico di normativa. Infatti per eseguire in automatico le combinazioni occorre impiegare i moltiplicatori voluti che sono appunto relativi alla tipologia di carico.

Per accedere al dialogo di gestione dei tipi delle condizioni si deve andare sul menu Dati-> Carichi -> Condizioni. Apparirà il dialogo seguente:



Alle condizioni va assegnato il tipo a scelta dell'utente. Per quanto riguarda le condizioni dinamiche 1 e 2 vanno assegnate come sismico SLD e le condizioni dinamiche 3 e 4 vanno assegnate come sismico SLU. Cliccando su tipi di carico si accede al seguente dialogo:



nel quale è possibile settare e personalizzare i diversi coefficienti per ogni tipologia di carico. Inoltre, si può spuntare, ove occorra, la casella gravità che consente di differenziare i carichi di gravità per le verifiche simiche.

Per il significato delle diverse voci e sul modo in cui il programma effettua le combinazioni automatiche si rimanda al manuale di riferimento del programma. Nel nostro esempio configureremo le diverse condizioni come si vede nella figura sopra.

Effettuate queste operazioni siamo pronti per analizzare la struttura. L'analisi può essere lanciata dal menu Analisi ->Analisi statica e dinamica, o premendo il pulsante della toolbar:



Verifica dei risultati

Periodi propri

Dopo aver fatto seguire l'analisi alla struttura si deve controllare la percentuale di massa eccitata. Tale controllo è immediatamente eseguibile mediante il tasto:



oppure dal menu Risultati -> Periodi propri. Si ottiene il dialogo:

Periodi propri e masse relative

Analisi: (1)_147

Modo: 1 Periodo (sec): 0.58766170

Masse modali relative			
x	y	z	s
0.92642373	0.00017575	0.00000000	0.46329974
Masse modali relative totali			
0.99894478	0.99803423	0.00000000	0.99848951

Continua

che ci fornisce i valori di massa eccitata relativi ai diversi periodi e nell'ultima riga si ottiene il valore della massa relativa totale. Il valore, per la norma, deve essere maggiore del 85%. Nel caso in esame la massa è maggiore di 85% e cioè pari a 99,84%

Consiglio: Se si trova un valore inferiore avendo assegnato un numero di periodi da calcolare pari a tre volte il numero di piani rigidi, prima di procedere ad aumentare il numero di modi calcolati è bene effettuare alcuni controlli e considerazioni in ordine alla modellazione effettuata.

- Controllare i periodi di vibrazione (autovalori) e la massa eccitata corrispondente di ciascun modo.
- Controllare la forma modale della struttura per valutarne la congruità, specialmente se ci sono modi con bassa massa eccitata. Attivare menu Risultati -> Forme modali oppure attivare il tasto della toolbar.
- Valutare se i modi suddetti sono plausibili in ordine alle caratteristiche della struttura e, se si ritiene che non siano plausibili, modificare il modello strutturale di conseguenza in modo da ottenere ciò che ci si aspetta. Una visualizzazione interessante è quella effettuata con mappa a colori (rappresentazione solida attivata). Essa ci fornisce un rapidissimo controllo della forma modale attiva.

La procedura suddetta è un aspetto delicato di tutto il processo di analisi in quanto questi fenomeni accadono molto spesso.

La mancata eccitazione delle masse nella misura voluta è spesso legata alla presenza di parti molto rigide le cui masse associate hanno scarsa possibilità di entrare nel processo. Questo accade, a esempio, in edifici con piano cantinato del quale siano modellate le pareti contro terra.

Deformate

Un altro controllo importante riguarda la deformata delle strutture sotto i carichi verticali ottenibile mediante il tasto



oppure dal menu Risultati -> Diagramma deformato.

Diagramma degli sforzi

Anche il controllo dei diagrammi degli sforzi (M,T,N) e degli isosforzi ci forniscono importanti indicazioni sulla qualità del modello di calcolo da noi realizzato. È sempre opportuno eseguire questi controlli prima di usare nel progetto delle armature lo stato di sollecitazione ottenuto con l'analisi. Infatti anche banali distrazioni nell'assegnazione dei carichi vengono immediatamente alla luce in questo modo.

Salvataggio del file

Terminate tutte le procedure definite nei capitoli precedenti siamo pronti per passare a EasyBeam, non prima di aver salvato la struttura e fatta una "pausa caffè".

Il salvataggio della struttura si esegue dal menu File->Salva o File->Salva come, o premendo l'icona del dischetto



appare un dialogo standard di salvataggio file e dopo aver scelta la directory dove salvare si sceglie il nome e si salva. Se il file è un file esistente la pressione dell'icona esegue il salvataggio diretto. Se si vuole cambiare il nome si deve utilizzare il menu File->Salva con nome.

Poiché in Nòlian si può impiegare qualsiasi sistema di unità di misura purché congruente, la informazione sul sistema di unità di misura impiegate finora non è stato necessario. Nei postprocessori invece che fanno riferimento a requisiti di normativa espressi in specifiche unità di misura, questa informa-

zione è necessaria. Salvando il file, nel dialogo di salvataggio, questa informazione va assolutamente assegnata.

Eseguite le operazioni di salvataggio si può passare a EasyBeam.

Progetto delle armature in EasyBeam

Apertura del file

Una volta aperto EasyBeam appare l'ambiente tridimensionale simile al Nòlian. L'apertura del file può essere effettuata:

1. Mediante l'icona

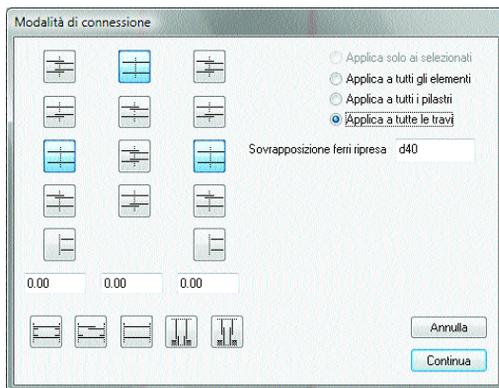


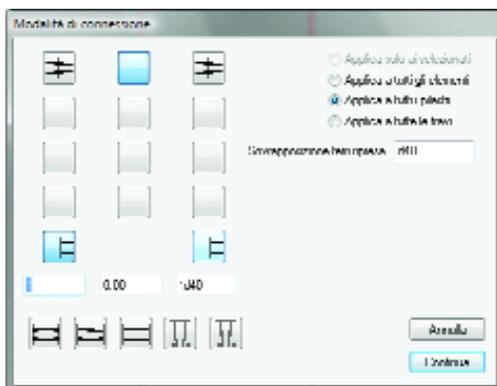
2. Trascinando l'icona del file di Nòlian all'interno dell'ambiente.
3. Dal menu File->Apri.

Modalità di connessione

Aperto il file della struttura è opportuno impostare le modalità di connessione delle barre alla interfaccia tra elementi contigui in quanto per default esse sono impostate sull'interruzione su ogni elemento.

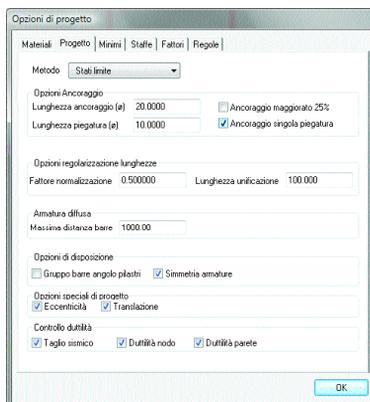
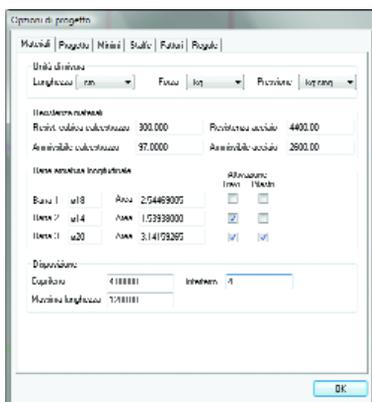
Si consiglia di impostare le modalità di connessione sulla continuità per le travi (corrispondente al 3° bottone dei cinque in basso), per i pilastri invece la scelta è dettata dalla sensibilità del progettista, pur sapendo che la interruzione migliore per i pilastri in zona sismica è alla mezzeria del pilastro (scelta consigliata ottenibile premendo il 5° bottone), la maggior parte preferisce utilizzare la interruzione al solaio di cui si presenta in figura la modalità di connessione (4° bottone).





Definizione dei parametri di progetto

Prima di effettuare il progetto delle armature della struttura si devono configurare tutti i parametri inerenti i materiali e si deve scegliere il metodo di progetto. Si ricorda che queste configurazioni vengono memorizzate dal programma per cui una volta eseguite secondo i materiali impiegati e le proprie abitudini progettuali non sarà affatto necessario assegnarli nuovamente o si dovrà intervenire solo su alcuni di essi.



Sulla scheda dei materiali si possono definire le caratteristiche del calcestruzzo e delle barre di armature e si possono definire barre diverse per travi e per pilastri. Si può definire inoltre la dimensione del copriferro e dell'interferro.

Si ricorda che il copriferro è definito come distanza dal centro della barra al lembo esterno del calcestruzzo e non si tratta del ricoprimento che viene defi-

nito come “copriferro” nella normativa vigente e cioè distanza minima dalla superficie esterna della barra di acciaio al lembo esterno del calcestruzzo. Il copriferro va quindi calcolato come segue $c = 2\text{cm}(\text{normativa}) + \text{diametro staffa} + 1/2 \text{ diametro della barra di dimensioni massime}$. Facendo l'esempio di staffe da 8mm e diametro massimo di 20mm si ottiene un copriferro di $(2+0,8+2/2)=3,8\text{cm}$

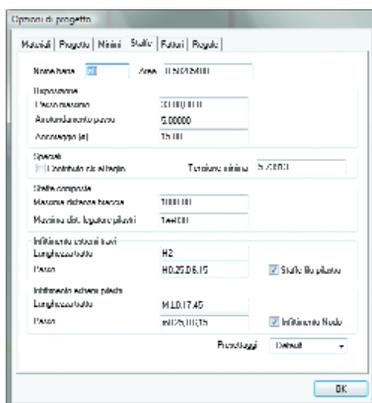
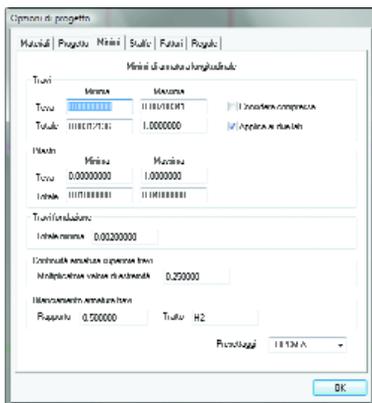
Similmente accade per l'interferro che essendo inteso dal programma come distanza tra i centri delle barre e non come distanza minima tra l'esterno delle barre va calcolato come $i = 2\text{cm} + \text{diametro}$ per barre fino ad un diametro di 20mm e $i = 2 \times \text{diametro}$ per barre superiori a 20mm. Facciamo un esempio. Se il diametro massimo delle barre utilizzate è di 16mm $i = 2 + 1,6 = 3,6\text{cm}$, se il diametro massimo è 22mm $i = 2 \times 2,2 = 4,4\text{cm}$.

La OPCM 3431 non permette più il calcolo del cemento armato con il metodo delle tensioni ammissibili. Quindi si deve necessariamente utilizzare il metodo degli stati limite.

La configurazione presentata nel dialogo sopra è la configurazione da utilizzare per strutture da progettare ad alta duttilità .

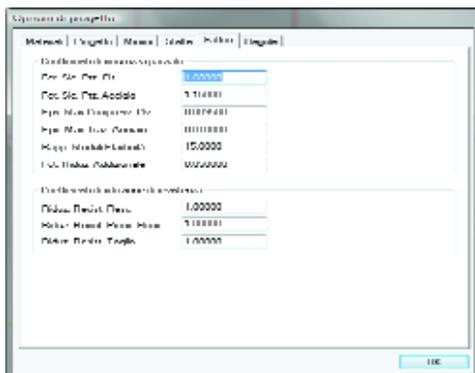
Per quanto riguarda il settaggio di minimi di armature longitudinale e a taglio inerenti il progetto per strutture ad alta duttilità, il programma EasyBeam fornisce automaticamente i settaggi potendosi scegliere il settaggio opportuno mediante l'apposito menu a tendina dove sono presenti i settaggi per

1. OPCM A per strutture ad alta duttilità
2. OPCM B per strutture a bassa duttilità.

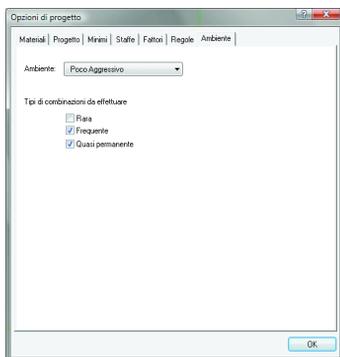


Per la sintassi dei settaggi all'interno dei campi si rimanda la manuale di riferimento.

I settaggi inerenti i fattori di sicurezza parziale per la normativa sono i seguenti:



Per la verifica a fessurazione (stati limite di servizio) va definito anche l'ambiente in cui la struttura è localizzata. Per fare ciò si deve scegliere l'ambiente nella apposita scheda dei parametri di progetto di seguito riportata:



nell'esempio si è scelto un ambiente poco aggressivo.

Terminate le operazioni di settaggio si può procedere al progetto delle armature utilizzando l'apposito tasto della palette



Nel nostro caso e cioè per strutture ad alta duttilità è necessario che il progetto sia effettuato su tutta la struttura contemporaneamente. Questo perché EasyBeam procederà al calcolo prima di tutte le travi e poi di tutti i pilastri per tenere conto della gerarchia delle resistenze.

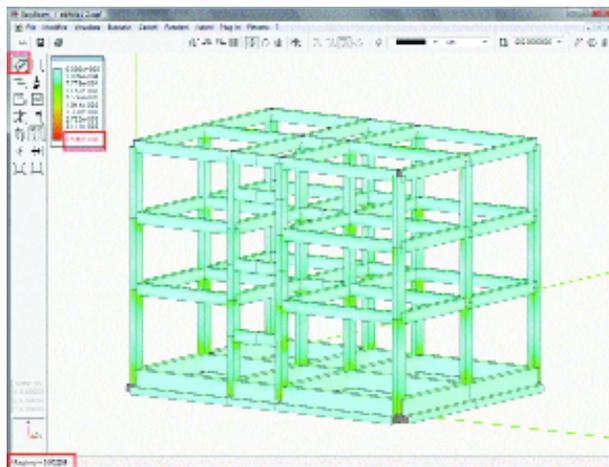
Procedure per le verifiche a video

Dopo aver effettuato il progetto delle armature ed eventualmente aver modificato le armature secondo le proprie esigenze è consigliabile effettuare le verifiche a video allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio delle diverse grandezze in gioco. Vediamo come fare in pochi e semplici passi.

Si ricorda che le funzioni di verifica sono tutte attivate tramite l'icona gerarchica che si trova in alto a sinistra della palette. Tenendo premuta l'icona, si apre una striscia che consente di scegliere il tipo di verifica desiderata. Le verifiche possono fornire valori numerici oppure rappresentazioni a livelli di colore. Per attivare una o l'altra modalità, si deve eseguire un doppio clic sull'icona della verifica desiderata e scegliere le modalità di verifica volute.

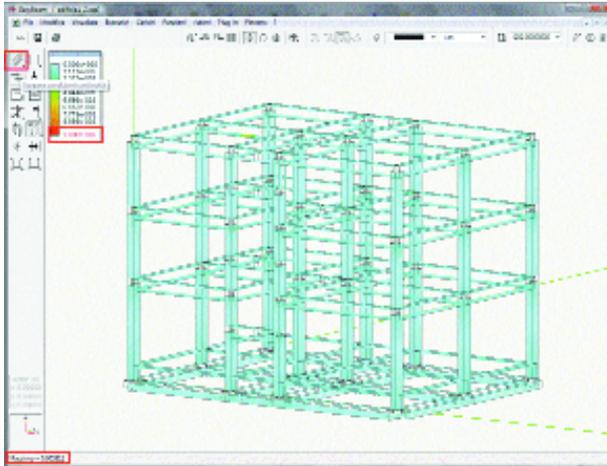
Verifica del calcestruzzo

Cliccando sull'icona della palette in alto a sinistra (evidenziata in rosso nella figura) e selezionando tutta la struttura mediante il menu Modifica->Seleziona tutto, oppure premendo contemporaneamente i tasti ctrl+A, o mediante il lazo, si visualizza la massima deformazione del calcestruzzo, evidenziata in basso nella barra di stato.



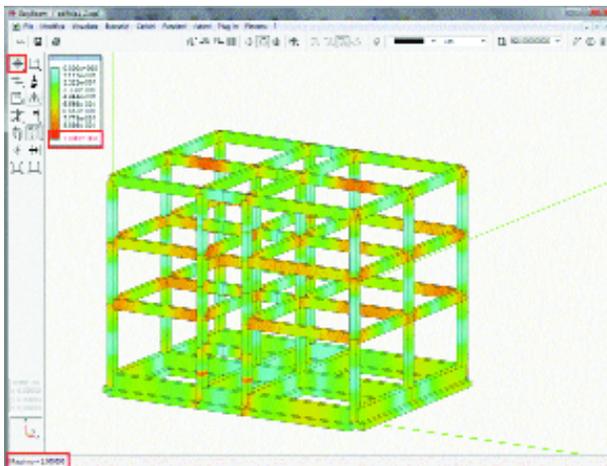
Verifica dell'acciaio

Cliccando sull'icona della palette in alto a sinistra (evidenziata in rosso nella figura) e selezionando tutta la struttura mediante il menu Modifica->Seleziona tutto, oppure premendo contemporaneamente i tasti ctrl+A, o mediante il lazo si visualizza la massima deformazione dell'acciaio, il cui valore numerico massimo è riportato in basso nella barra di stato.



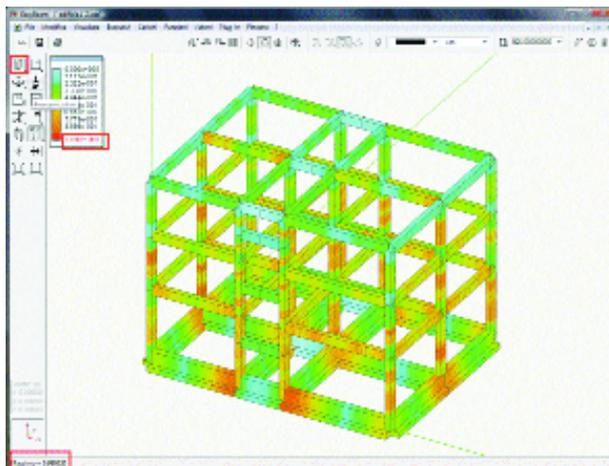
Verifica del coefficiente di sfruttamento

Cliccando due volte sull'icona della palette in altro a sinistra (evidenziata in rosso in figura) appare un dialogo dove è possibile settare la possibilità di visualizzazione della rappresentazione a colori anziché dei valori numerici del coefficiente di sfruttamento. Selezionando tutta la struttura mediante il menu Modifica->Seleziona tutto, oppure premendo contemporaneamente i tasti ctrl+A, o mediante il lazo si visualizza il valore del coefficiente di sfruttamento, il cui massimo è evidenziato in basso nella barra di stato. Sulla legenda dei colori, è visualizzato il valore massimo ottenibile.



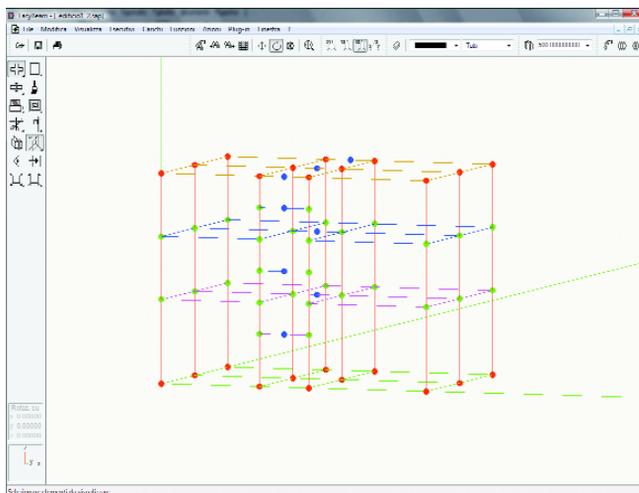
Verifica del taglio

La verifica si attiva come quelle precedentemente illustrate. Il valore mostrato a diagramma di colori è il coefficiente di sfruttamento (inverso del coefficiente di sicurezza) per il taglio. Viene mostrato il valore massimo tra tutte le combinazioni di progetto attivate.



Verifica dei giunti

Questa funzione si attiva come le altre funzioni di verifica precedentemente descritte. I nodi vengono verificati per la gerarchia delle resistenze e per la staffatura secondo normativa.



Le verifiche possono avere tre risultati identificati da tre colori diversi:

- il colore rosso indica che nel nodo $a < 1.2$,
- il colore blu indica che il nodo non è ammissibile per la verifica,
- il colore verde che $a > 1.2$.

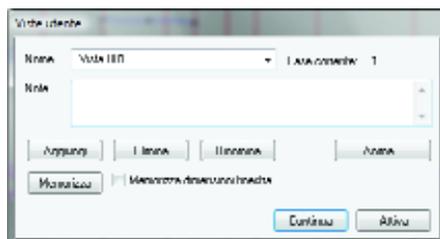
In testa e al piede dei pilastri è ammesso che la verifica non sia soddisfatta.

Tutte le immagini dei risultati che sono rappresentate possono essere salvate e come vista utente e poi stampate nel tabulato di EasyBeam. La procedura da seguire è la seguente.

Cliccare sull'icona



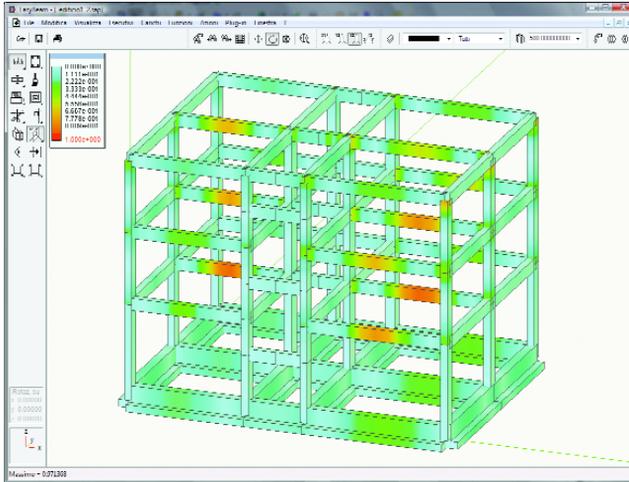
appare il dialogo



cliccando su aggiungi il programma aggiungerà una nuova vista. Il nome assegnato alla vista verrà poi riportato come didascalia della figura.

Verifica allo stato limite di servizio: fessurazione

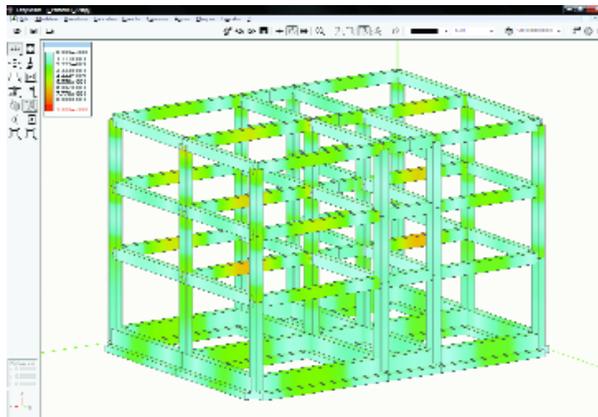
Questa funzione si attiva come le altre funzioni di verifica precedentemente descritte. Nel dialogo delle opzioni della verifica (che si apre con un doppio clic sull'icona) si devono assegnare i due valori limite della apertura delle fessure che sono il fine scala della mappatura a colori. Tali valori, dati dalla normativa, possono essere inseriti dall'utente o settati in modo automatico selezionando il tipo da ambiente nel dialogo dei fattori di combinazione di esercizio.



Verifica allo stato limite di servizio: tensioni di esercizio

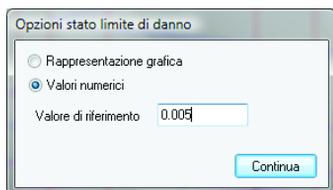
Questa funzione si attiva come le altre funzioni di verifica precedentemente descritte. Nel dialogo delle opzioni della verifica (che si apre con un doppio clic sull'icona) si possono assegnare i moltiplicatori della tensione di snervamento acciaio. Tali valori dati dalla normativa possono essere inseriti dall'utente o settati in modo automatico selezionando il tipo di ambiente nel dialogo dei fattori di combinazione di esercizio.

Cliccando su Continua e selezionando quindi tutta la struttura è possibile avere la rappresentazione a colori della verifica delle tensioni di esercizio.



Verifica stato limite di danno

Questa verifica si attiva mediante l'apposita icona sulla palette come per le altre funzioni di verifica precedentemente descritte. Nel dialogo delle opzioni di verifica



è possibile settare il tipo di rappresentazione numerica o grafica e un valore di riferimento per la verifica a colori. Per la verifica numerica apparirà il seguente dialogo.

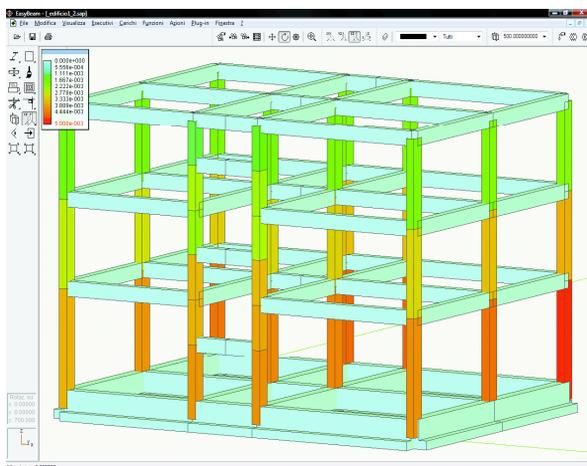
Tali valori possono essere riassunti nella rappresentazione grafica.

Spostamenti relativi

Quota	Spostamento relativo
275	0.0041936
425	0.0050692
575	0.0036154
725	0.0037568
875	0.0025215
1025	0.0020609

Spostamento relativo massimo: 0.005069

Continua



Produzione dei disegni esecutivi

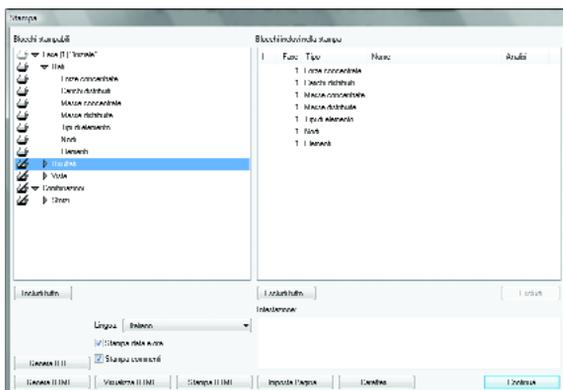
Questo Percorso è soprattutto dedicato alle procedure da seguire per effettuare un consapevole progetto in zona sismica e quindi non si inoltra, per forza di cose, nelle moltissime funzioni dei programmi di cui si tratta. Un cenno a parte merita la produzione automatica dei disegni esecutivi degli elementi in calcestruzzo armato in quanto su tali procedure si basa la produttività del processo progettuale. In EasyBeam, oltre alla possibilità di modificare le armature in modo molto semplice e diretto, le procedure di generazione degli esecutivi sono molto flessibili e produttive e si basano su un sistema CAD interno, il BIC, eguale per tutti i post-processor di Nòlian, che consente la manipolazione grafica dei disegni con molta facilità consentendo di giungere fino alla produzione finale. Su queste funzioni, vista la loro specificità, non ci soffermiamo rimandando alla documentazione di EasyBeam ma ci teniamo a sottolineare la semplicità e produttività di queste ultime operazioni per ottenere gli elaborati esecutivi.

La relazione di calcolo

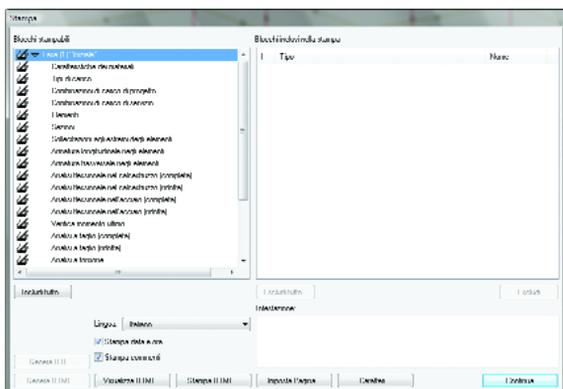
Alla relazione di calcolo è dedicato il Percorso 5 al quale rimandiamo per ogni ulteriore informazione sull'argomento. Qui, per facilitare la comprensione di questo percorso, ci limitiamo a ricordare che la Relazione Tecnica è un documento che contiene informazioni sulle scelte progettuali del progettista e quindi ha una struttura piuttosto articolata e personale che in EasyWorld viene gestita da un programma specifico: EasyQuill. Quindi le stampe di cui si parlerà nel prossimo capitolo vanno viste soprattutto come degli allegati tecnici da allegare alla Relazione Tecnica. Sul loro livello di dettaglio vi sono pareri discordi. Molti progettisti riportano in Relazione Tecnica solo le verifiche e i dati principali del progetto, altri i risultati in forma completa. I programmi di EasyWorld tendono a favorire al massimo la personalizzazione degli elaborati del progetto per non dare ai progettisti una soluzione unica ma invece flessibile e adattabile alle loro esigenze.

Stampa dei risultati

Cliccando sull'icona di stampa di Nòlian e di EasyBeam appaiono i seguenti dialoghi.:



Dialogo stampe di Nòlian



Dialogo stampe EasyBeam

I dialoghi di stampa sono simili e la stampa è completamente configurabile dall'utente. Si può quindi ottenere una stampa personalizzata anche con le immagini delle viste utente salvate nel file.

Un blocco può essere stampato cliccando sull'icona a forma di stampante barrata che diventerà attiva e sarà così visualizzata nella parte destra del dialogo. Tutti i blocchi possono essere spostati a piacimento trascinandoli per organizzare la successione dei testi. Le stampe possono essere realizzate in

html o rtf premendo il pulsante di generazione del file di stampa. Se alcune verifiche non state eseguite oppure non sono risultate soddisfacenti il programma ne dà comunicazione in sede di stampa e sul tabulato vengono evidenziate in rosso.

Cosa stampare?

Se la struttura è ha molti elementi strutturali non è difficile ottenere tabulati con migliaia di pagine. Proprio per questo i programmi della Softing sono stati sviluppati con una attenzione particolare alle verifiche in forma grafica per ottenere una maggiore sinteticità dei risultati. A tale scopo è stata anche sviluppata la stampa mirata che riassume la stampa esponendo in automatico solo le verifiche degli elementi strutturali più significativi.

