

Edisis

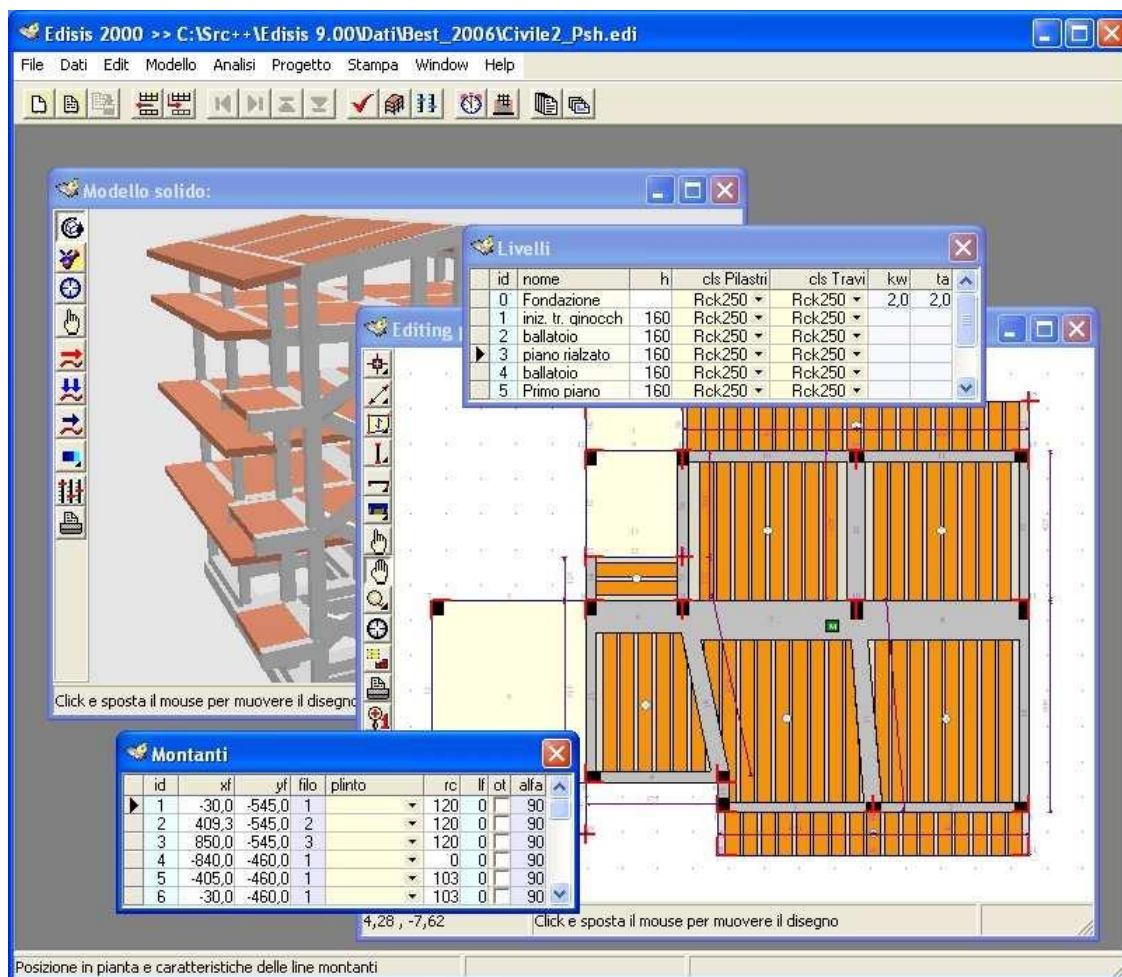
Analisi e progetto di edifici in c.a.

Edisis è un programma Windows per l'analisi e la progettazione strutturale di edifici multipiano. La versione 9.x è aggiornata alle disposizioni contenute nel testo unico delle nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni*, emanate col DM 14/01/2008.

Ricordiamo che le nuove norme sono entrate in vigore dal 5 marzo 2008 e da subito sono diventate obbligatorie per le costruzioni di interesse strategico e importanti in conseguenza ad un loro eventuale collasso. Col termine del periodo transitorio di proroga, dal 1° luglio 2009 l'adozione obbligatoria delle nuove norme è stata estesa a tutte le altre costruzioni. A questo riguardo segnaliamo che con la nuova versione è anche possibile l'applicazione della normativa precedente (Dm96), che è indubbiamente una opzione utile nella pratica professionale per calcoli di collaudo o perizie, ma lo è ancor di più in questo periodo perchè consente di sperimentare su una stessa struttura gli effetti che si conseguono con le due normative e facilita l'acquisizione di una adeguata sensibilità al dimensionamento strutturale secondo le nuove norme.

Il programma è specifico per strutture in cemento armato e fornisce, a partire da una descrizione minimale delle geometrie e dei carichi, un progetto strutturale completo, inclusi i disegni esecutivi e la relazione di calcolo.

La struttura si definisce in ambiente grafico o, in maniera equivalente, tramite input digitato, col supporto di funzioni di utilità come la duplicazione di piani, l'importazione Dxf di planimetrie di sfondo o la sincronizzazione automatica delle finestre di lavoro. Nell'insieme, l'organizzazione complessiva dell'ambiente risulta molto efficiente e un'intera sessione di lavoro può essere completata in tempi veramente brevi, col minimo sforzo da parte dell'utente.



Una fase di lavoro col programma.

La figura mostra una fase di lavoro col programma, in cui sono visibili alcune griglie dati, una pianta e una vista tridimensionale della struttura. Nella pianta si possono notare i pilastri, le travi e le orditure dei solai. In entrambe le finestre sono visibili le barre strumenti, allineate sul lembo sinistro, con i comandi di gestione.

Sulla base dei dati di definizione, il programma costruisce il modello strutturale dell'edificio secondo una schematizzazione a telaio tridimensionale e tenendo conto del contributo irrigidente dei solai nel loro piano. Gli elementi resistenti (travi e pilastri) sono trattati come travi inflesse di spessore finito, secondo la teoria delle travi tozze deformabili a flessione, a taglio e a torsione. I nodi di collegamento sono ipotizzati rigidi e a dimensione trasversale finita, collegati nel piano degli impalcati con un insieme di molle elastiche di rigidezza equivalente. La fondazione è prevista come grigliato di travi rovesce, con plinti e campi platea.

Le armature sono progettate secondo uno stile pre-impostato dall'utente, in accordo con tutte le norme attualmente in vigore. Nelle viste delle carpenterie è prevista la modifica grafica dei ferri e, per ogni variazione dell'armatura, il programma riesegue tutte le verifiche coinvolte, riportando i risultati in forma di istogrammi a lettura immediata. Tali caratteristiche estendono l'uso del programma anche nei casi di verifica di edifici esistenti, in cui sia nota una particolare disposizione dell'armatura e si vuole conoscere lo stato tensionale sotto nuovi carichi.

Molto versatile è inoltre la produzione degli elaborati. Sia per la relazione di calcolo che per gli esecutivi di cantiere sono previsti funzioni di impaginazione, preview e stampa, con possibilità di esportazione Rtf per i testi e Dxf per le tavole di disegno.

Sintesi delle novità della versione 9.2x

- Pieno adeguamento alle Norme del Dm 2008.
- Completamento automatico dei parametri di pericolosità sismica in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione.
- Adeguamento secondo normativa dei fattori di combinazione delle azioni, della capacità portante delle fondazioni e delle modalità di verifica a taglio degli elementi in c.a.
- Adeguamento dell'espressione di calcolo per il fattore di struttura.
- Impostazione automatica dei parametri di progetto secondo varie normative e in particolare secondo le Ntc 2008.
- Completa modellazione tridimensionale della struttura, incluso il contributo dei solai alla rigidezza nel piano e fuori del piano.
- Analisi pushover estesa per il calcolo del fattore di struttura e per la verifica degli stati limite di Danno, Salvaguardia vita e Collasso.
- Vista in modello solido delle deformate di collasso e delle mappe di impegno delle duttilità residue per gli stati limite SLD, SLV, SLC individuati con l'analisi pushover.
- Implementazione articolata della gerarchia delle resistenze con possibilità di controlli alternativi o complementari tramite analisi pushover.
- Possibilità di definire azioni orizzontali su pilastri o pareti, distribuite lungo l'altezza ed utili per modellare spinte di terrapieni o di invasi.
- Disegno dei diagrammi delle sollecitazioni per travi e pilastri, sia per le singole azioni, sia per gli involucri.
- Interfacciamento degli scarichi in fondazione con il programma Ediplin, per il progetto di plinti su pali.
- Aggiunta del sommario nella stampa o nell'esportazione Rtf dei tabulati.
- Aumento da 7 a 12 livelli per la versione Edislim a dimensioni ridotte.

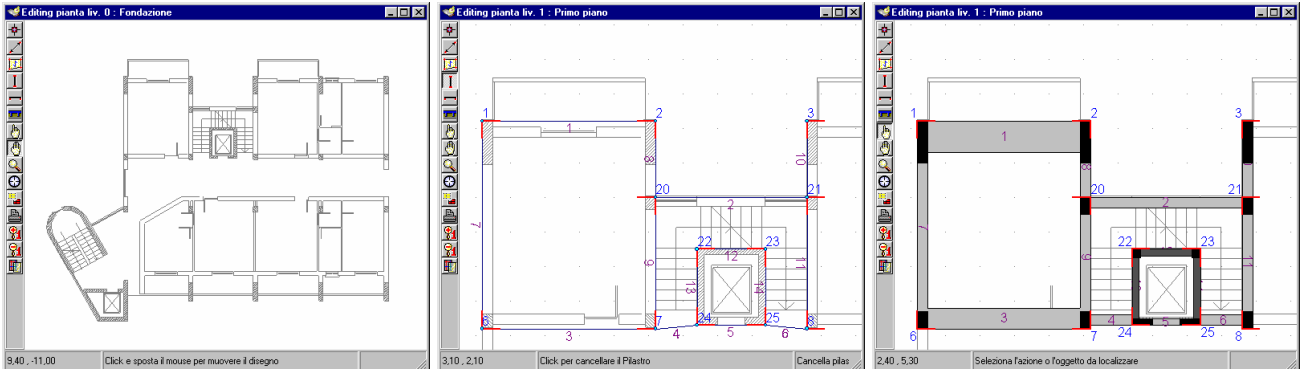
Viste grafiche

Il programma prevede diverse finestre di visualizzazione, piante, sezioni sui telai, prospettiva solida tridimensionale e carpenterie, con un grado di dettaglio da disegno esecutivo. Sono presenti inoltre barre strumenti con i comandi usuali di zoom, pan, preview. A questi si aggiungono i comandi di inserimento e modifica grafica, specifici di ogni finestra. Nella vista delle piante e dei telai, c'è ad esempio la possibilità di inserire, cancellare o modificare in ogni dettaglio tutti gli elementi strutturali. Nelle carpenterie armature, le stesse azioni possono essere eseguite sui ferri longitudinali e sulla staffatura.

L'input grafico delle piante

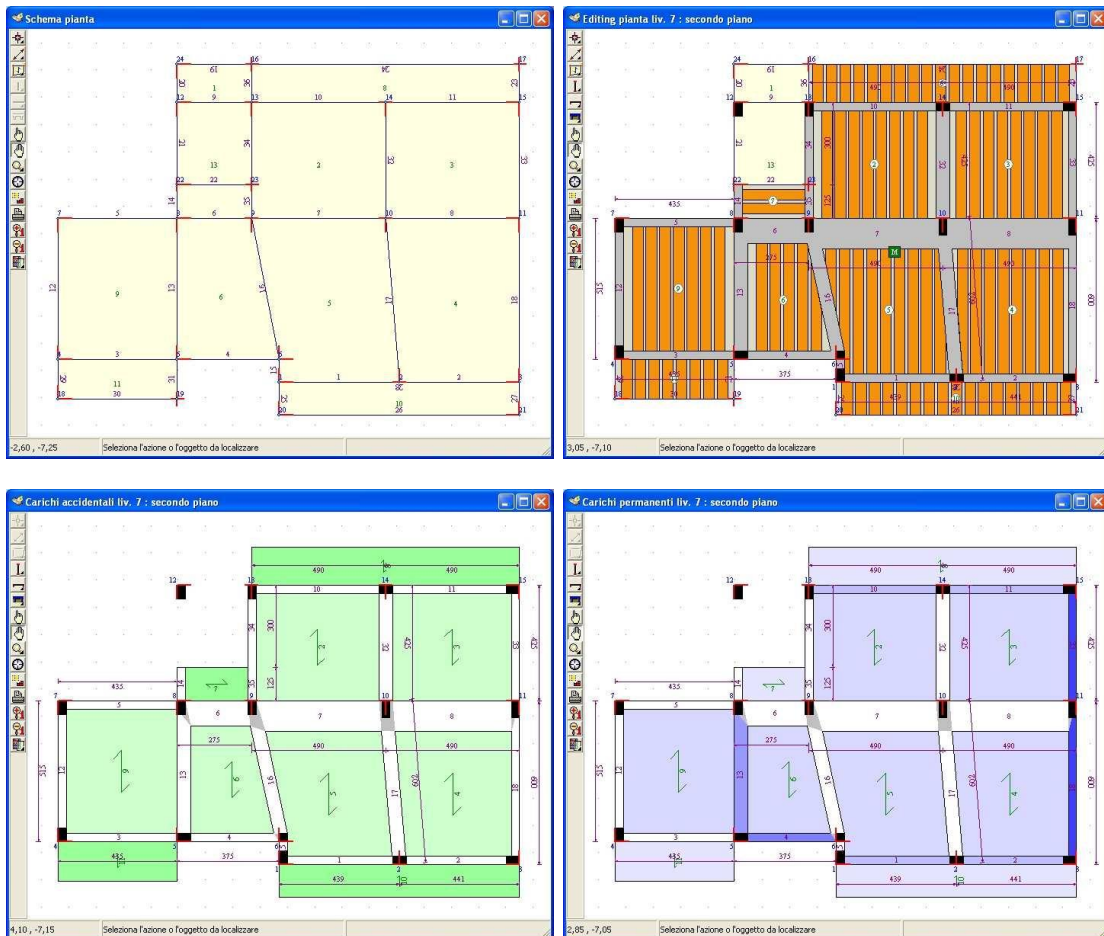
La struttura si definisce in ambiente grafico o, in maniera equivalente, tramite input digitato, col supporto di funzioni di utilità come la duplicazione di piani, l'importazione Dxf di planimetrie di sfondo e la sincronizzazione automatica delle finestre di lavoro.

Elementi strutturali tipici sono travi, pilastri e pareti in elevazione, travi rovesce, plinti e platee in fondazione.



Fasi di input di un edificio: importazione di uno sfondo Dxf, inserimento di montanti e campate, inserimento di travi e pilastri. Visibile la cassa ascensore modellata con elementi parete.

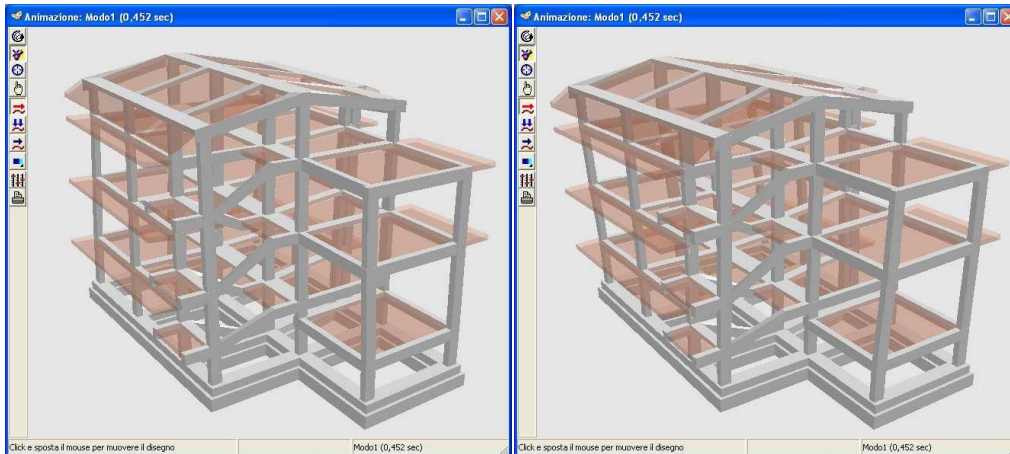
Ogni disegno, inoltre, ha un proprio foglio di preferenze, che consente all'utente di variare dimensioni dei caratteri di quotatura, eliminare le fillature, selezionare gradi di dettaglio ed altro ancora. Molto utile nelle piante è, ad esempio, la possibilità di visualizzare i carichi distribuiti su solai e travi a toni di colore o richiedere l'etichetta con le dimensioni BxH sulle travi.



Viste di piante secondo vari dettagli di visualizzazione e mappe a toni di colore dei carichi applicati.

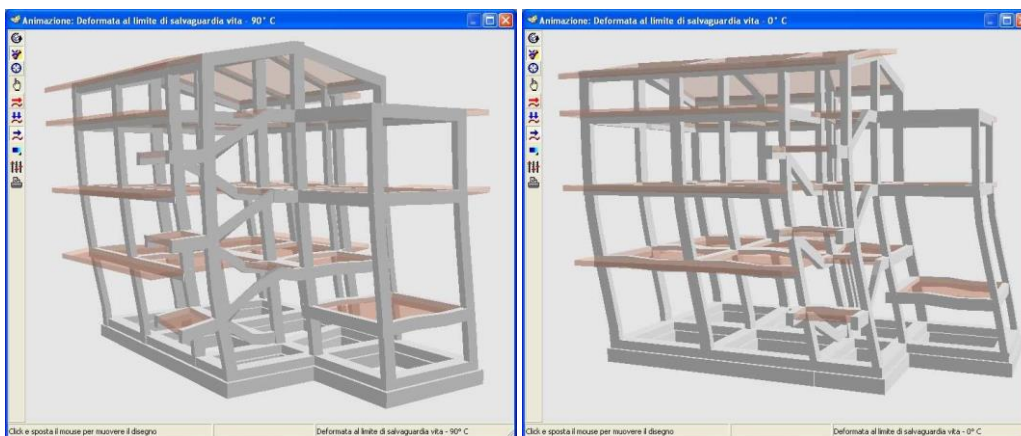
Controllo dei dati e costruzione del modello solido

A partire dai dati di definizione e prima di eseguire le successive fasi di analisi e progetto, il programma effettua un approfondito controllo dei dati e segnala possibili incongruenze. Il controllo geometrico e dimensionale della struttura è facilitato dalle viste dei telai e dalla vista solida 3D. Dopo aver eseguito le fasi di analisi, la vista del modello solido consente di visualizzare in sequenza animata i modi di vibrazione ottenuti con l'analisi dinamica, le deformate dovute alle azioni statiche e quelle al limite di salvaguardia vita ottenute con l'analisi pushover.



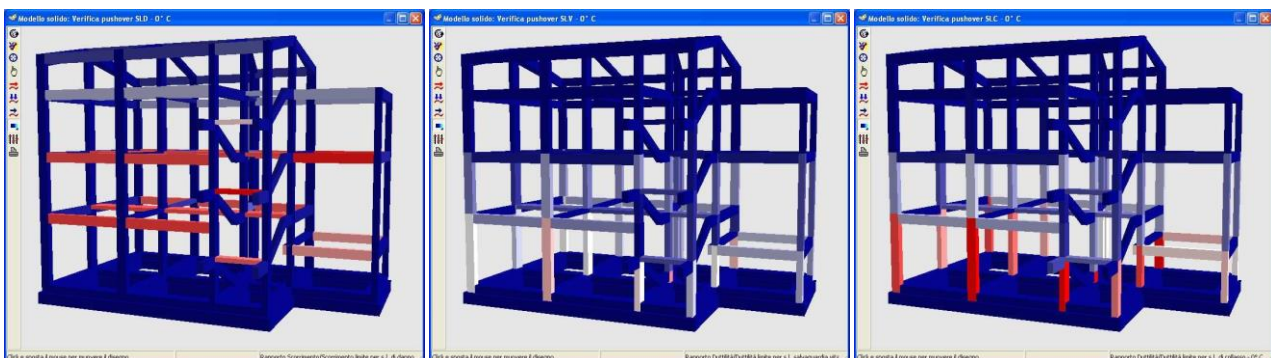
Vista animata dei modi di vibrare ottenuti dall'analisi dinamica lineare.

Se è stata eseguita l'analisi statica nonlineare (analisi pushover), è possibile vedere l'animazione delle deformate in corrispondenza dello stato limite di Salvaguardia vita (SLV) al variare della direzione sismica e della distribuzione delle accelerazioni sull'altezza del fabbricato.



Vista animata delle deformate allo stato limite SLV ottenute dall'analisi pushover.

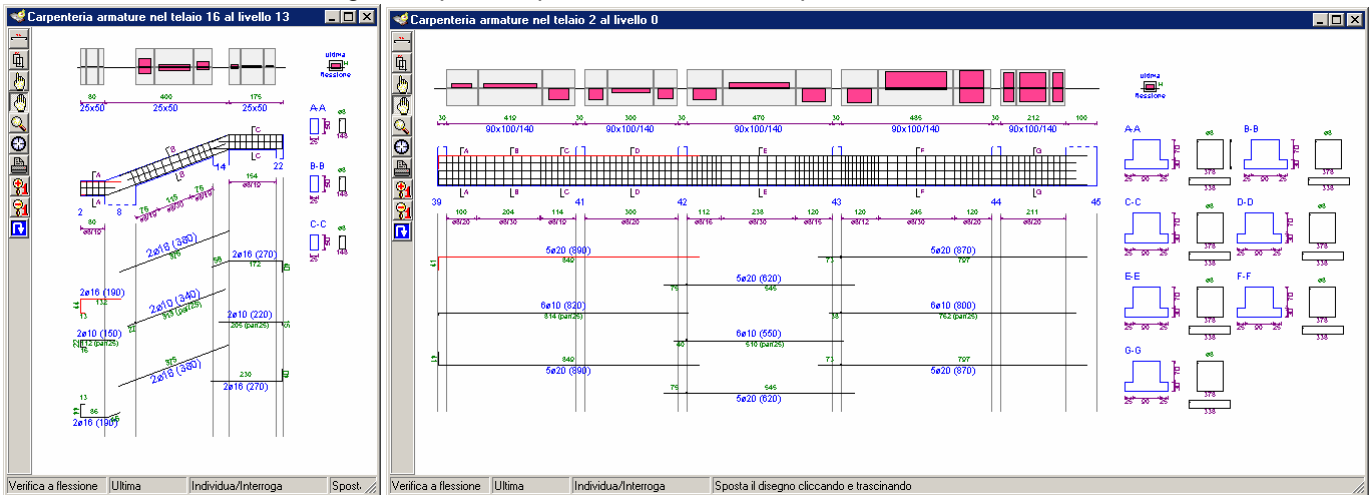
Ancora, c'è la possibilità di visualizzare le mappe di impegno a toni di colore relative all'incidenza del ferro, alle tensioni nei materiali o alle duttilità residue in corrispondenza degli stati limite di interesse dell'analisi pushover.



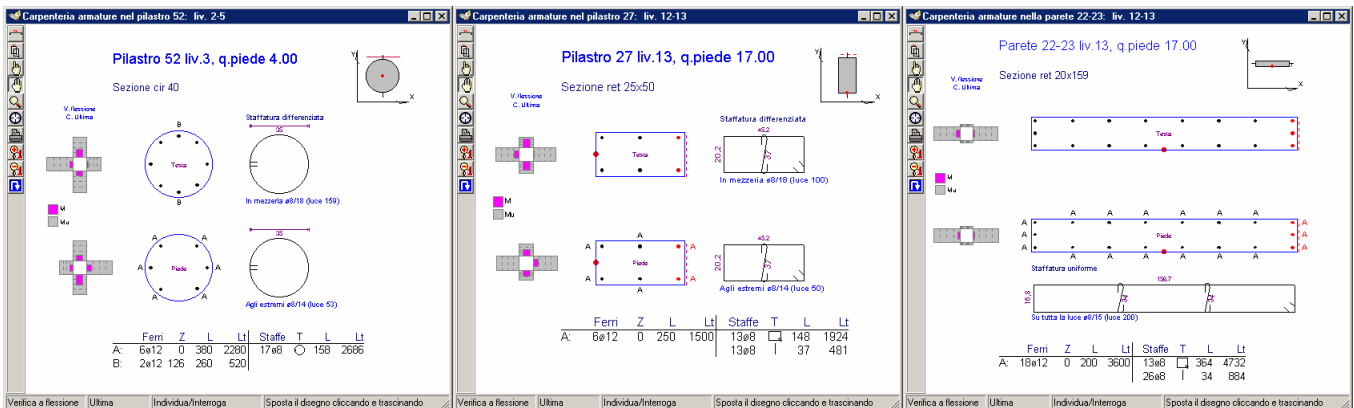
Vista delle mappe di impegno agli stati limite SLD (scorrimento di interpiano), SLV e SLC (duttilità)

Carpenterie delle armature

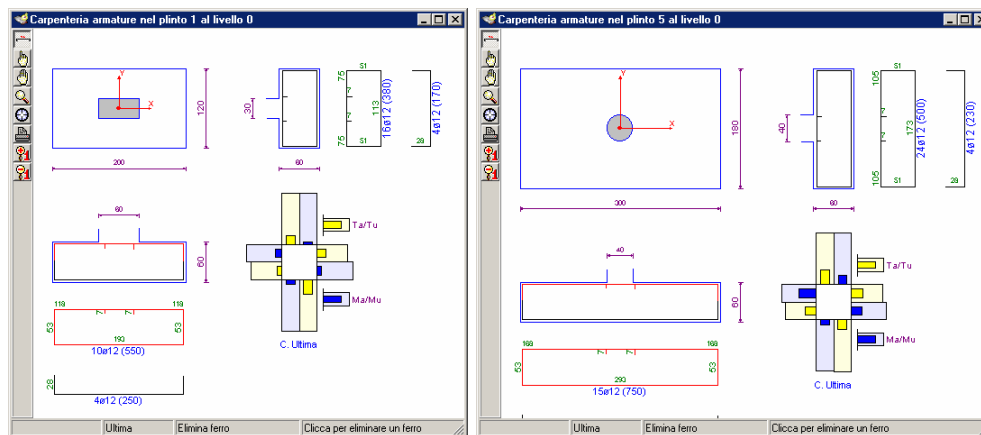
Con l'esecuzione della fase di progetto, diventano disponibili le viste delle carpenterie travi, pilastri, plinti, pareti e delle platee, prodotte con un grado di dettaglio da disegno esecutivo. In queste finestre le barre strumenti consentono, fra l'altro, la modifica grafica dei ferri. Inserendo, cancellando o modificando i ferri presenti si configura la carpenteria nel modo desiderato, avendo come supporto gli istogrammi di verifica, aggiornati immediatamente dopo ogni variazione dell'armatura. Questa è una caratteristica molto utile nel caso si debba verificare una struttura esistente, sotto carichi variati, della quale si conosca la disposizione delle armature. In questo caso si assegna l'armatura e si utilizza il programma per ottenere le verifiche, controllando graficamente gli istogrammi. Gli istogrammi possono rappresentare i picchi tensionali rispetto alle tensioni limiti dei materiali, come nelle verifiche alle tensioni ammissibili o agli stati limite di esercizio, o le sollecitazioni agenti rispetto a quelle resistenti, come per le verifiche allo stato limite ultimo.



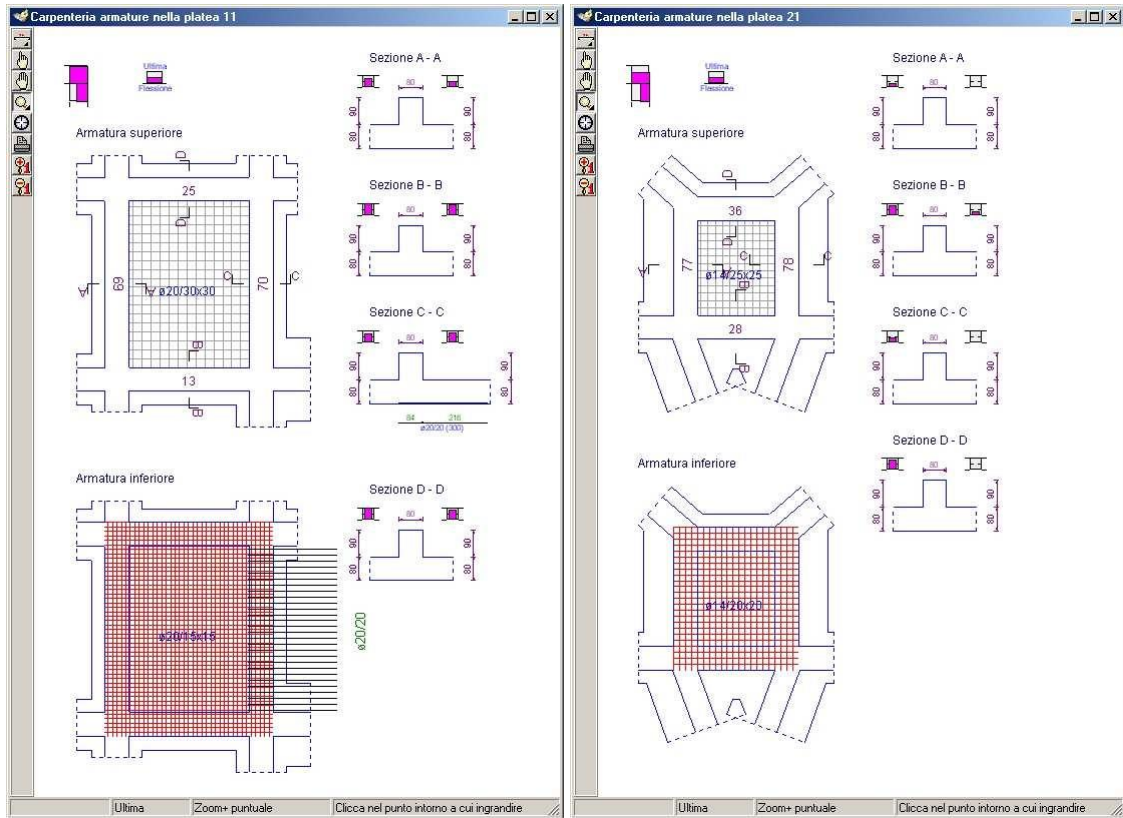
Esempi di carpenteria travi.



Esempi di carpenteria pilastri.



Esempi di carpenteria plinti.



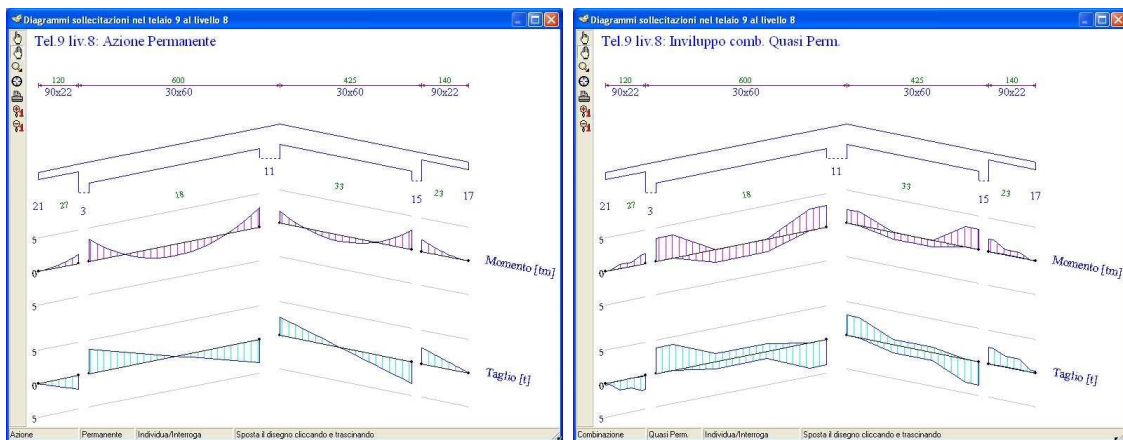
Esempi di carpenteria platee.

Diagrammi delle sollecitazioni

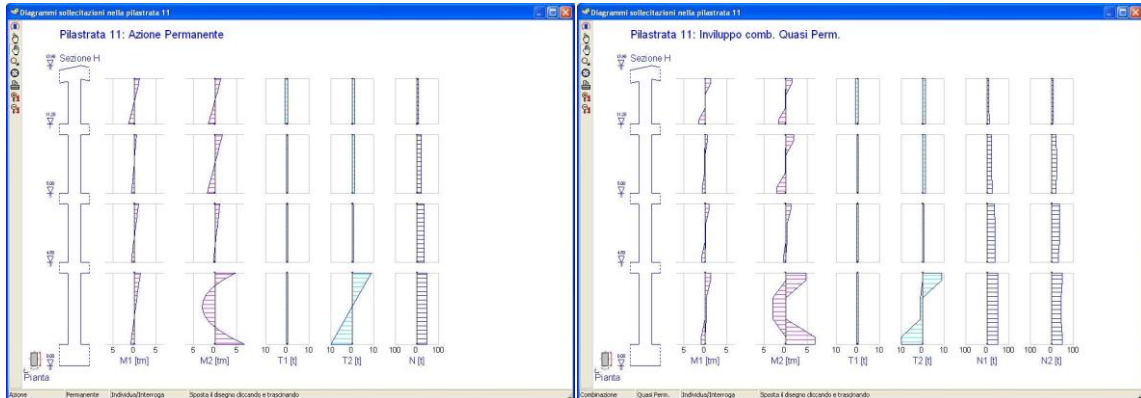
Sono disponibili i diagrammi delle sollecitazioni per travi e pilastri per le singole azioni di carico o per le combinazioni di involucro previste dal sistema normativo utilizzato, corredati di unità di misura e linee di riferimento dimensionale per i valori.

I diagrammi per singola azione (permanente o variabili) sono a costituiti da un solo grafico, quelli relativi all'azione sismica e alle combinazioni di carico sono invece costituiti da due grafici sovrapposti, che esprimono i valori minimo e massimo di involucro.

Nei diagrammi delle sollecitazioni travi sono riportati il momento flettente e il taglio. Nei diagrammi dei pilastri compaiono invece i momenti flettenti, i tagli e lo sforzo normale. Momenti e tagli sono differenziati per i due piani di inflessione: in direzione della dimensione h o della dimensione b della sezione trasversale. Negli involucri lo sforzo normale è anch'esso differenziato per direzione, per esprimere il valore associato al momento nelle verifiche a pressoflessione.



Diagrammi sulle travi per singola azione e per involucri.



Diagrammi sui pilastri per singola azione e per involuppi.

Caratteristiche di analisi

L'analisi strutturale si basa su una modellazione tridimensionale dell'edificio e con analisi in campo elastico lineare e nonlineare, conformi alle disposizioni delle norme tecniche emanate nel 2005.

Il modello tridimensionale

Il programma assume un modello tridimensionale agli elementi finiti, prodotto come assemblaggio di elementi resistenti (travi e pilastri) di spessore finito, modellati secondo la teoria delle travi tozze deformabili a flessione, taglio e torsione. Gli elementi dell'ossatura intelaiata tridimensionale sono interconnessi attraverso nodi a dimensione finita. Il contributo irrigidente dei solai nel loro piano viene reso mediante un insieme di molle elastiche che collegano ciascun nodo del livello.

Il modello strutturale per la fondazione è un grigliato di travi rovesce, con eventuale presenza di elementi plinto sotto i pilastri e di solai rovesci a platea nei campi interni del grigliato di travi.

La modellazione, rigorosamente tridimensionale, estende le potenzialità di calcolo della versione attuale rispetto alle precedenti. E' adesso possibile effettuare l'analisi di strutture a grigliato, cioè senza i pilastri di supporto e si ha una migliore definizione dei casi in cui nello stesso nodo convergano più aste orientate diversamente.

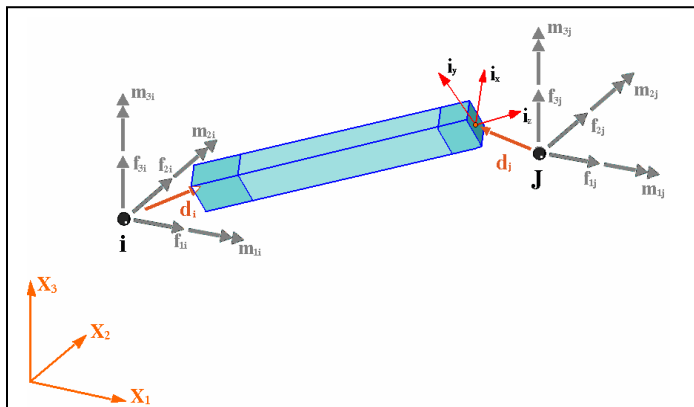
L'elemento trave

L'elemento trave è utilizzato per la modellazione delle travi di piano e a ginocchio, dei pilastri e delle pareti. Si compone di tre parti: due tratti rigidi di estremità, ciascuno di ampiezza pari al semi-spessore del nodo diminuito del 25% dello spessore dell'elemento, ed un tratto centrale deformabile di luce attiva inferiore alla lunghezza lorda dell'elemento.

In presenza di dimensioni trasversali tipicamente ben maggiori di un decimo della luce dell'elemento, non appare in effetti giustificata l'ipotesi di comportamento alla De Saint Venant tipica di analisi condotte con procedimenti manuali.

L'uso di elementi deformabili a taglio, collegati attraverso nodi di dimensione finita, rappresenta quindi un sostanziale miglioramento del modello di calcolo e corrisponde ad una schematizzazione pressoché standard in analisi automatica delle strutture fin dai primi anni '60.

In questo modo, mettendo in conto gli effetti dei disassamenti negli scarichi e le reali lunghezze di inflessione degli elementi, si ottiene una modellazione senz'altro più accurata. Trascurare l'effetto del nodo rigido e della rigidità a taglio, infatti, comporta un errore nelle sollecitazioni tanto maggiore quanto più le dimensioni trasversali crescono rispetto alla luce dell'elemento e questo può condurre a pericolosi sottodimensionamenti di elementi tipici quali pareti, pilastri o travi tozze.



Azioni di carico

Le azioni di carico considerate sono

- Azioni permanenti
- Azioni variabili statiche (ad esempio per abitazioni, uffici, archivi, neve, vento ecc.)
- Azioni termiche
- Azioni sismiche
- Azione da distorsioni plastiche

L'azione di carico permanente comprende il peso proprio della struttura e i carichi assegnati come permanenti sulle travi, sui pilastri e sui solai.

Le azioni di carico variabile comprendono invece i carichi assegnati su travi, pilastri e solai, dipendenti dalle azioni variabili statiche definite dalla norma, ad esempio carichi di esercizio per abitazioni, uffici, archivi, carichi da neve, vento, ecc., per ognuno dei quali sono definiti gli opportuni coefficienti ψ di involuppo.

L'azione di carico termico è data dalle variazioni di temperatura definite sui pilastri e sulle travi.

L'azione da distorsioni plastiche è una azione di carico auto-equilibrata che corrisponde alla redistribuzione delle sollecitazioni determinata in automatico dal programma con l'analisi ad adattamento plastico.

Azioni sismiche

Le azioni sismiche sono differenziate per analisi statica o dinamica.

Nel caso di analisi statica sono considerate due condizioni di carico laterale, sisma in direzione X e sisma in direzione Y, più una condizione di carico verticale. A queste si aggiunge una ulteriore condizione che tiene conto del momento torcente dovuto all'eccentricità accidentale prevista dalle normative.

Nel caso di analisi dinamica sono calcolati innanzitutto i modi di vibrazione. Per ogni modo sono valutate le percentuali di massa attivata nelle direzioni X, Y, Z, i corrispondenti fattori di partecipazione e le percentuali di massa cumulata per sisma orizzontale e per sisma verticale. Quest'ultimi valori si ottengono come somma dei contributi dei singoli modi e quindi all'aumentare del numero di modi considerati nell'analisi il valore della massa totale eccitata cresce. Al riguardo la normativa impone di considerare nell'analisi dinamica modale un numero di modi tale che la massa partecipante totale sia superiore all'85% (Ntc96 punto B.6, Ntc08 punto 7.3.3.1). Come si vedrà nel paragrafo successivo, la tecnica del completamento modale prevista dal programma consente di recuperare gli effetti dei modi trascurati nell'analisi ed è molto efficace anche per soddisfare i requisiti sulla massa partecipante totale.

Analisi Dinamica - partecipazione x:100% y:100% z:100%																
mo	TiSLV	TiSLD	TiSLO	mx	my	mz	mch	mcv	forma	Aso(u)	Asv(u)	Aso(d)	Asv(d)	Aso(o)	Asv(o)	
1	0.446	0.446	0.446	0.684	0.018	0.000	0.351	0.000	preval. X	0.172	0.044	0.144	0.016	0.075	0.011	
2	0.418	0.418	0.418	0.001	0.698	0.000	0.700	0.000	preval. Y	0.172	0.047	0.144	0.017	0.075	0.012	
3	0.343	0.343	0.343	0.080	0.069	0.000	0.775	0.000	torsionale	0.172	0.057	0.144	0.020	0.075	0.014	
4	0.133	0.133	0.133	0.088	0.006	0.000	0.822	0.000	preval. X	0.216	0.130	0.112	0.047	0.065	0.033	
5	0.122	0.122	0.122	0.006	0.105	0.000	0.877	0.000	preval. Y	0.220	0.130	0.108	0.047	0.064	0.033	
6	0.100	0.100	0.100	0.005	0.001	0.000	0.881	0.000	torsionale	0.229	0.130	0.099	0.047	0.061	0.033	
7	0.078	0.078	0.078	0.038	0.003	0.000	0.901	0.000	preval. X	0.238	0.130	0.090	0.047	0.057	0.033	
8	0.070	0.070	0.070	0.018	0.053	0.012	0.936	0.012	preval. Y	0.241	0.130	0.087	0.047	0.056	0.033	
9	0.067	0.067	0.067	0.000	0.000	0.123	0.936	0.135	preval. Z	0.242	0.130	0.086	0.047	0.056	0.033	
cx	0.048	0.048	0.048	0.080	0.000	0.000	0.977	0.135	compl. X	0.250	0.130	0.078	0.047	0.053	0.034	
cy	0.051	0.051	0.051	0.000	0.047	0.000	1.000	0.135	compl. Y	0.249	0.130	0.079	0.047	0.053	0.033	
cz	0.056	0.056	0.056	0.000	0.000	0.865	1.000	1.000	compl. Z	0.247	0.130	0.081	0.047	0.054	0.033	

Risultati dell'analisi modale. Per ogni modo sono riportati il periodo, le percentuali di massa eccitata, le percentuali di massa cumulata per sisma orizzontale e verticale e le accelerazioni spettrali corrispondenti.

Il programma procede rapidamente al calcolo dei i modi di vibrazione richiesti per periodo decrescente. Si è posta una certa cura nell'ottimizzazione del codice e della procedura di decomposizione spettrale utilizzata in modo da rendere più spedita possibile questa fase. Ciascuna componente modale è considerata dal programma quale condizione di carico indipendente che sarà successivamente combinata, ai fini del calcolo delle sollecitazioni, con la legge di combinazione scelta (SRSS o CQC).

Questo modo di procedere consente ad un tempo di massimizzare l'effetto del sisma sul modo considerato, riferendosi all'angolo di incidenza più restrittivo, e per valori dell'eccentricità addizionale diversi da zero, consente di trattare gli edifici a pianta allungata in un modo analogo a

quello seguito nel caso di analisi statica. Dal punto di vista probabilistico, gli effetti sismici verticali vengono ritenuti indipendenti da quelli orizzontali, per cui si combinano con la regola della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS).

Solo nel caso di analisi secondo il DM 16/1/96 l'azione sismica verticale è messa in conto come effetto locale (ad esempio sulle travi a sbalzo), considerando una accelerazione sismica verticale pari a 0.4 g, ulteriormente amplificata tramite il fattore di protezione I assegnato. Nel caso di analisi secondo DM 14/01/08, l'azione sismica verticale è trattata come una eccitazione sismica indipendente, facendo riferimento agli spettri di accelerazione verticale indicati dalla normativa.

Azioni di completamento modale

Una rappresentazione spettrale completa richiederebbe un numero di modi di vibrazione pari al numero totale di variabili utilizzate dalla descrizione cinematica della struttura, quindi dell'ordine delle migliaia di modi nel caso di edifici di media complessità, cosa per ovvi motivi impraticabile. Generalmente l'analisi viene estesa solo a qualche decina di modi, quelli a maggiore periodo proprio, i più significativi ai fini della risposta dinamica, almeno nel caso di edifici multipiano soggetti ad accelerazione sismica orizzontale. Tuttavia, malgrado che l'elevata ottimizzazione degli algoritmi utilizzati da EDISIS consenta di estendere di molto il numero dei modi da mettere in conto, in presenza di accelerazione verticale o di strutture non riconducibili al tipico edificio multipiano regolare, la rappresentazione modale potrebbe risultare non sufficiente a caratterizzare completamente la risposta della struttura.

Per ovviare a ciò, EDISIS utilizza il completamento modale: introduce cioè ulteriori modi di vibrazione che completano lo spettro già calcolato raccogliendo gli effetti dei modi a basso periodo trascurati dall'analisi modale. Il completamento modale svolge un ruolo particolarmente significativo nella valutazione degli effetti della componente verticale dell'accelerazione sismica che, tipicamente, tende ad eccitare prevalentemente i modi a basso periodo di vibrazione.

Massa sismica distribuita o concentrata

In Edisis è possibile scegliere il tipo di distribuzione della massa sismica: ripartita nei nodi o distribuita lungo l'elemento. La semplificazione usuale di concentrare le masse nei nodi può risultare inadeguata in quanto trascura i modi deformativi locali degli elementi, che possono essere tuttavia significativi per elementi snelli soggetti agli effetti sismici verticali. Edisis considera, più propriamente, la distribuzione reale delle masse ed integra l'energia cinetica su tutta la lunghezza degli elementi (massa uniformemente ripartita). L'uso di elementi la cui cinematica è arricchita da variabili interne consente una accurata messa in conto dei contributi deformativi locali. La differenza tra i due modi di procedere risulta evidente in presenza di modi di vibrazione locali, del tutto ignorati dall'analisi a masse concentrate.

Combinazioni delle azioni

Le combinazioni delle azioni considerate ai fini della verifica dipendono dal sistema normativo selezionato:

Selezionando "Stati Limite" si considerano le quattro seguenti combinazioni, di cui si possono assegnare direttamente i fattori massimi e minimi di involucro:

Quasi-permanenti	per S.L. di esercizio,
Frequenti	per S.L. di esercizio,
Rara	per S.L. di esercizio,
Ultima	per S.L. ultimo.

Nel caso in cui si fosse optato per il calcolo secondo il DM 14/01/2008 a queste quattro si aggiungono le ulteriori combinazioni:

Ultima sismica ovvero Salvaguardia vita	per S.L. ultimo,
Danno/Operatività sismica	per S.L. di esercizio.

Selezionando invece il sistema normativo "Tensioni Ammissibili" si considera una unica combinazione con fattori di involucro unitari.

Verifiche

Il programma esegue tutte le verifiche richieste dalle norme vigenti per il sistema normativo scelto. In particolare sono eseguite:

Verifica delle punte tensionali	per S.L. Esercizio;
Verifiche di resistenza	per S.L. Ultimo,
Verifiche alla fessurazione,	per S.L. Esercizio;
Verifiche alla deformazione	per S.L. Esercizio o Ultimo.

La verifica delle punte tensionali è effettuata per i diversi stati limiti di esercizio in funzione dei fattori di sicurezza sui carichi e sulle resistenze richieste dalla normativa.

La verifica di resistenza è effettuata in corrispondenza della combinazione allo stato limite ultimo. La verifica a fessurazione è svolta in funzione dell'aggressività ambientale e della sensibilità delle armature. Vengono considerate sette sezioni di verifica per le travi (a 0, 10, 35, 50, 65, 90, e 100 % della luce), due sezioni di verifica per i pilastri (in testa e al piede) mentre per le platee le verifiche vengono effettuate in due sezioni mutuamente ortogonali di centro campo e lungo ciascun lato del contorno.

La verifica a deformazione comprende il controllo dello scorrimento di interpiano tra gli elementi, ai fini della verifica di espulsione dei tramezzi e della funzionalità degli impianti, e il controllo dello spostamento totale degli elementi ai fini della verifica a martellamento.

Il Quadro sintetico delle verifiche

Dal menù Progetto è possibile aprire il quadro delle verifiche, con la sintesi degli esiti finali per ogni verifica e per ogni combinazione di carico da considerare.



Verifiche per stati limite	QP	FR	RA	UL	SU	SD	SO	GR	TA
► Punte di tensione	ok	ok	ok	---	---	---	---	---	---
Fessurazione	ok	ok	---	---	---	---	---	---	---
Resistenza ultima	---	---	---	ok	ok	---	---	ok	---
Spostamenti relativi	---	---	---	---	---	ok	---	---	---
Spostamenti assoluti	---	---	---	---	ok	---	---	---	---
Tensioni in fondazione	---	---	---	ok	ok	---	---	---	---

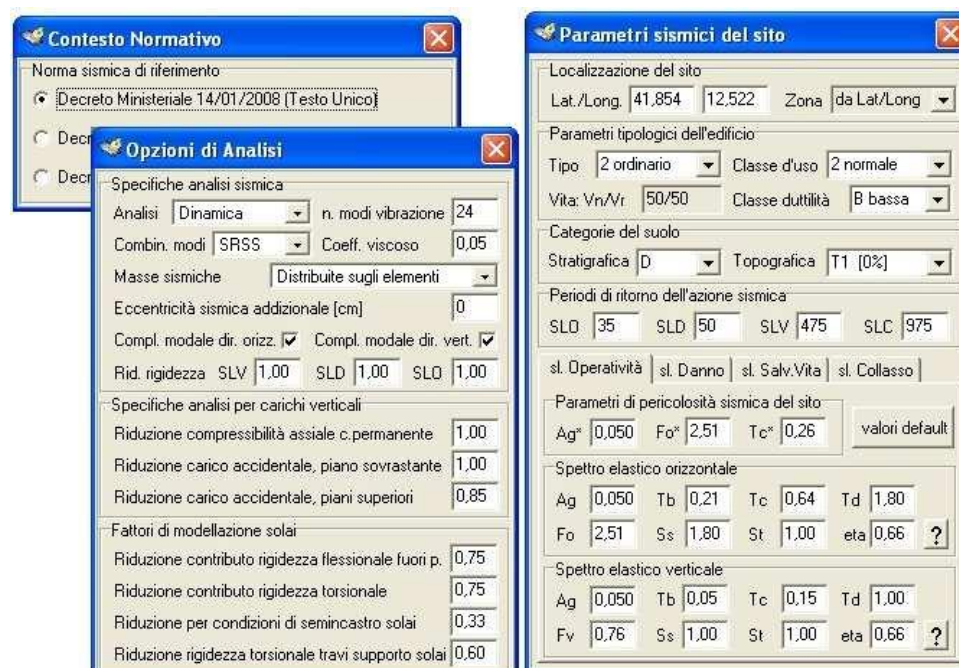
La griglia con gli esiti delle verifiche eseguite.

Esecuzione dell'analisi

Una volta conclusa la descrizione dell'edificio, si potrà procedere all'esecuzione dell'analisi e del progetto armature.

Impostazione delle opzioni di analisi

Una fase preliminare consiste nell'impostazione delle opzioni che definiscono il contesto normativo di riferimento, il tipo di analisi sismica, i fattori riduttivi per le resistenze di calcolo, i fattori di combinazioni di carico. Altre opzioni riguardano il progetto delle armature e fissano le specifiche tecniche da rispettare nel loro dimensionamento.



Fogli di impostazione delle opzioni di analisi e verifica

Impostazione automatica dei parametri di pericolosità sismica

A differenza delle normative precedenti, le Ntc 2008 prevedono una maggiore articolazione nella definizione sismica del territorio. E' infatti abbandonato il concetto di zona sismica ed introdotta una mappatura dettagliata dei parametri di pericolosità, basata su un reticolo geodetico di punti esteso a tutto il territorio italiano, con maglia di lato inferiore ai 10 chilometri.

I parametri di pericolosità sismica sono rappresentati dalla accelerazione orizzontale massima del terreno a_g , dal fattore di amplificazione spettrale F_0 e dal periodo di riferimento T_c^* . Questi parametri devono essere ricavati, mediante opportune interpolazioni, dalle tabelle di pericolosità allegata alla norma, che riportano i valori di pericolosità nei nodi del reticolo geodetico per diversi periodi di ritorno dell'azione sismica e con riferimento ad un suolo di fondazione di classe A (roccia).

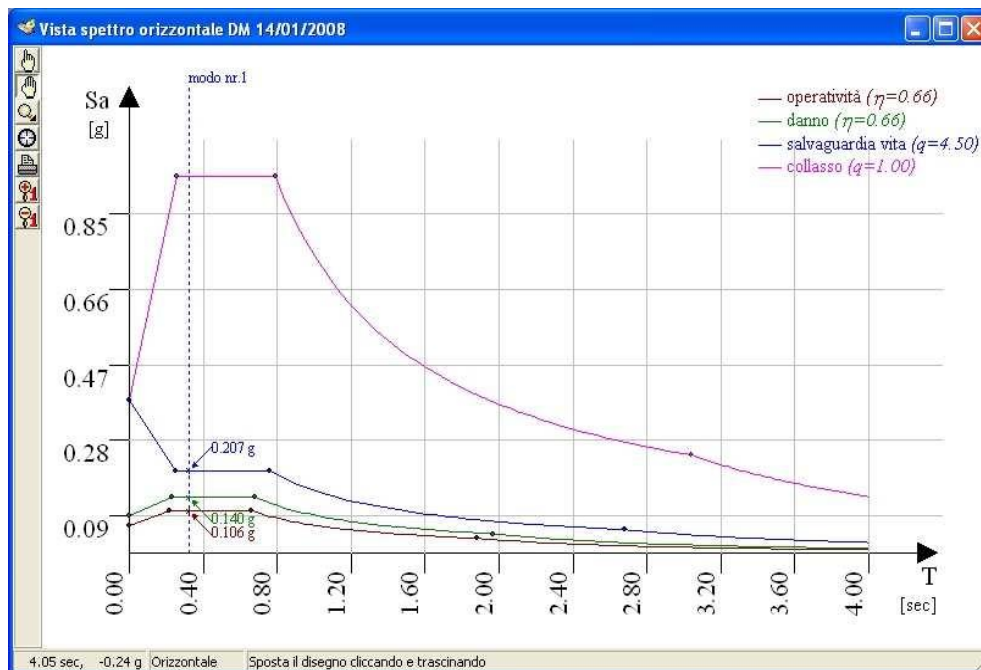
Sono previsti quattro stati limite di verifica:

- SLO stato limite di operatività sismica,
- SLD stato limite di danno sismico,
- SLV stato limite di salvaguardia vita,
- SLC stato limite di collasso,

ad ognuno dei quali è associata una azione sismica di diversa intensità, con periodo di ritorno dipendente dall'importanza della costruzione. Il calcolo dei parametri di pericolosità è effettuato interpolando i valori riportati nelle tabelle in funzione delle coordinate geografiche del sito (latitudine, longitudine) e dei periodi di ritorno associati a ciascun stato limite.

Anche se il calcolo non presenta particolari difficoltà, richiede comunque un adeguato impegno di risorse se affrontato manualmente. Per questa ragione, il programma è stato dotato di funzioni automatiche che rendono immediata la definizione dei parametri di pericolosità nel foglio dei parametri sismici, riportato nella figura precedente. Una volta assegnate le coordinate geografiche del sito e la classe d'uso della costruzione, il programma provvede a calcolare i periodi di ritorno dell'azione sismica per gli stati limite di interesse (SLO, SLD, SLV e SLC) e a valutare per ogni stato limite i parametri di pericolosità del sito, effettuando una interpolazione geografica (rispetto cioè ai quattro vertici della maglia che racchiude il sito) e una temporale (rispetto cioè ai periodi di ritorno disponibili in tabella).

In base ai parametri di pericolosità e tenendo conto delle categorie del suolo di fondazione il programma provvede alla inizializzazione degli altri parametri spettrali che definiscono compiutamente gli spettri di risposta, sia della componente orizzontale, sia di quella verticale. Gli spettri di risposta sono quindi visualizzabili in grafico e, ad analisi effettuata, riportano informazioni anche sulle accelerazioni spettrali attivate dai vari modi di vibrare.



La vista degli spettri di risposta in accelerazione orizzontale per stati limite SLO, SLD, SLV e SLC.

L'analisi elastica

La sessione inizia con l'analisi elastica, nel corso della quale il programma effettua l'analisi dei carichi, determina la soluzione elastica per ciascuna azione di carico e quindi procede all'involuppo delle sollecitazioni per le varie combinazioni da considerare.

A valle di questa fase di analisi, sono disponibili alcuni indicatori sintetici dei risultati conseguiti, quali griglie delle sollecitazioni, istogrammi delle tensioni medie nei vari elementi e la posizione del baricentro delle masse. Il loro esame aiuta il progettista a perfezionare il dimensionamento iniziale. Sono inoltre disponibili a video i modi deformativi, sia statici che dinamici, in modalità grafica 3D OpenGL. Per le azioni sismiche dinamiche sono disponibili i fattori di partecipazione di ciascun modo e la percentuale di massa totale attivata dal sisma. Sono disponibili anche i valori numerici delle sollecitazioni nei singoli elementi e le tensioni scaricate sul terreno di fondazione.

trv	liv	i-j	cmb	tam	ti	tm	tj
1	0	1-2	UL	2,61	2,56	2,53	2,18
		1-2	US	2,61		2,53	1,94
2	0	2-3	UL	2,61	2,12	1,76	2,20
		2-3	US	2,61	1,89	1,79	2,18
3	0	4-5	UL	2,61	2,25	1,99	2,21
		4-5	US	2,61	1,91	1,60	1,78
4	0	5-6	UL	2,61	2,21	1,94	2,03
		5-6	US	2,61	1,78	1,56	1,73
5	0	7-8	UL	2,61	2,21	1,76	1,89
		7-8	US	2,61	1,79	1,70	

id	i-j	Mi	Mc	Mj	N	Ti	Tj	Mt	Mtc	Mtj
2	2-3	-0,21	0,14	-0,80	-0,01	0,60	-0,95	-0,47	-0,47	-0,47
3	3-4	-0,23	0,58	-0,14	0,01	0,86	-0,81	0,47	0,47	0,47
4	4-9	0,01	1,14	-1,94	0,49	1,77	-2,84	0,02	0,10	0,18
5	9-10	-1,00	0,74	-0,85	-0,21	2,10	-2,01	-0,37	-0,37	-0,37
5	2-8	-0,04	1,35	-1,72	0,61	1,98	-2,90	0,09	0,01	-0,08

Tensioni sul terreno di fondazione e sollecitazioni nelle travi per una data azione di carico.

Il progetto delle armature

Si prosegue con le fasi di progetto delle armature per le travi, i pilastri e i plinti. Le armature saranno dimensionate in accordo con le specifiche di progetto assegnate ed eventualmente potranno anche essere localmente modificate. La definizione dello stile di progetto passa attraverso l'assegnazione di opportuni parametri tecnici, come diametri, percentuali massime e minime, interassi desiderati, fattori di simmetria, ecc.

L'analisi ad adattamento plastico (analisi shakedown)

Se si è optato per il metodo agli Stati Limite, si può proseguire con l'esecuzione dell'analisi nonlineare ad adattamento plastico (shakedown), nel caso si voglia tener conto della redistribuzione di sollecitazioni dovute alle deformazioni plastiche, che porta in genere ad una riduzione delle punte tensionali ed una migliore uniformità nella disposizione delle armature.

La norma, anche se tollera procedimenti approssimati di tipo empirico, prevede che quest'effetto sia valutato mediante una analisi elasto-plastica nonlineare. [Dm 9/1/96 punto 4.1.1.3 – Dm 14/9/05 punto 5.1.2.1.3, Dm08 punto 4.1.1.1]

L'uso di formule empiriche non risulta affidabile in analisi di tipo automatico. Pertanto, nella realizzazione di EDISIS si è optato per una analisi elasto-plastica rigorosa, pur se questa scelta comporta tempi di calcolo lunghi rispetto agli standard di velocità del programma. La presenza di carichi ciclici variabili di origine sismica impone che l'analisi sia condotta nell'ambito della teoria dell'adattamento plastico. In particolare viene utilizzata la strategia di soluzione descritta in "An iterative method for shakedown analysis", R. Casciaro and G. Garcea, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering 191 (2002).

L'analisi ad adattamento plastico può essere attivata solo a valle di una progettazione preliminare delle armature (ad esempio basata sui risultati della soluzione elastica) ed opera attraverso un processo di ottimizzazione che incrementa il fattore di sicurezza della struttura fino al limite di adattamento plastico.

A valle dell'analisi ad adattamento plastico è possibile una riprogettazione delle armature in base al nuovo assetto delle sollecitazioni.

L'analisi sismica statica nonlineare (analisi pushover)

I recenti sviluppi della normativa tecnica hanno posto l'analisi statica nonlineare, nota anche come analisi pushover, in un ruolo di primaria importanza nell'ambito della progettazione antisismica. In particolare, con tale analisi è possibile conseguire due importanti obiettivi [Dm08 al punto 7.3.4.1]:

- calcolare con maggiore affidabilità il fattore di struttura da utilizzare nelle tradizionali analisi elastico-lineari;
- valutare la capacità sismica di edifici nuovi o esistenti mediante la verifica di alcuni stati limite di interesse.

Il primo obiettivo, il calcolo cioè del fattore di struttura, ottenuto attraverso l'analisi pushover, permette di migliorare l'affidabilità dell'analisi elastico-lineare. Uno degli aspetti più delicati della modellazione elastico-lineare è rappresentato infatti dalla necessità di valutare gli effetti nonlineari della risposta strutturale e di condensarli nel fattore di struttura, da cui dipendono le accelerazioni sismiche spettrali associate ai singoli modi di vibrazione. Considerata la funzione chiave che il fattore di struttura riveste nella definizione delle azioni sismiche, non è consigliabile limitarsi a valutarlo in base alla sola descrizione qualitativa della struttura (tipologia strutturale, del numero di piani, ecc.), come pure suggerito dalla stessa normativa, in mancanza di valutazioni più precise. La correlazione euristica su cui si basa questa valutazione, anche se fornisce indicazioni utili in media, non offre reali garanzie che l'azione sismica così calcolata non possa risultare fortemente sovrastimata o anche pericolosamente sottostimata.

Operativamente, dovendo l'analisi pushover essere eseguita a valle del progetto armature, è necessario assumere a priori un valore iniziale del rapporto di sovrarresistenza e, sulla base di questa assunzione eseguire l'analisi lineare e il calcolo delle armature. Si esegue quindi l'analisi pushover e si verifica a posteriori che il valore ipotizzato sia effettivamente disponibile nella struttura.

Il secondo obiettivo mira ad estendere anche a strutture intelaiate quello che da tempo si applica nell'analisi di edifici in muratura in zona sismica, utilizzare cioè l'analisi pushover per quantificare la sicurezza della struttura nei confronti di alcuni stati limite predefiniti, corrispondenti al raggiungimento dello stato limite di Danno (SLD), di Salvaguardia vita (SLV) e del Collasso strutturale (SLC).

Implementazione dell'analisi pushover in Edisis

Alla luce di queste disposizioni, la nuova versione Edisis 9.x dà ampio spazio allo sviluppo dell'analisi pushover, in modo tale da consentire:

- una stima accurata più del fattore di struttura,
- il riconoscimento di eventuali meccanismi di collasso fragile,
- la verifica degli stati limite di interesse (SLD, SLV e SLC).

L'analisi è condotta applicando sulla struttura i carichi statici quasi-permanenti ed una distribuzione variabile di accelerazioni sismiche agenti in una direzione prefissata. Si instaura quindi un processo incrementale in cui l'azione sismica viene amplificata proporzionalmente, fino al raggiungimento del collasso. Gli elementi resistenti sono considerati a comportamento elastoplastico, a duttilità limitata e per essi sono valutate le rotazioni limiti allo snervamento e al collasso, secondo le indicazioni delle Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008 [Circolare 617/2009].

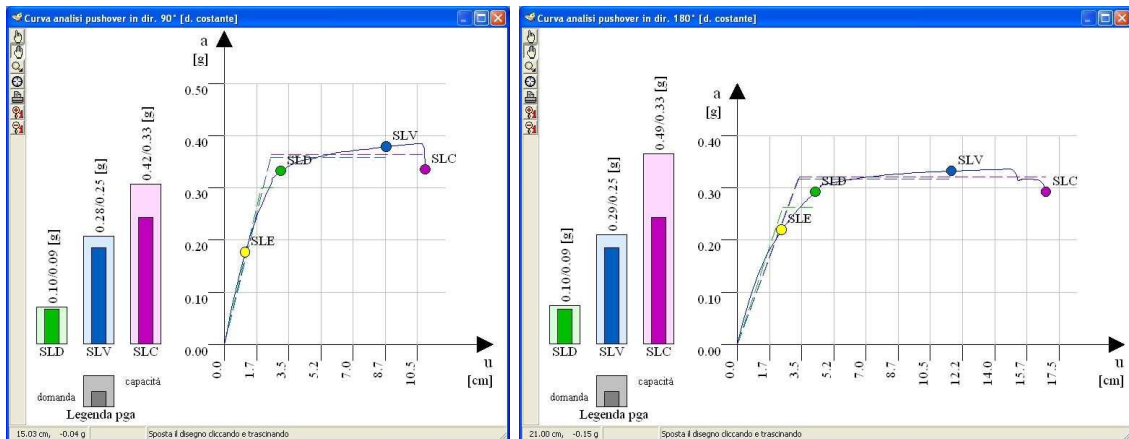
Nel corso dell'analisi sono riconosciuti i seguenti stati limite:

- **stato limite di danno (SLD)**,
segnalato dal primo raggiungimento dello scorrimento limite di interpiano, in corrispondenza di una delle maglie di telaio marcate per tale verifica nel foglio Travi;
- **stato limite di salvaguardia vita (SLV)**,
segnalato dal primo raggiungimento di una predefinita aliquota della rotazione di collasso in qualche elemento;
- **stato limite di collasso (SLC)**,
segnalato da una caduta di carico pari al 15% del valore massimo raggiunto.

Consapevoli del fatto che analisi di questo tipo non rientrano nelle abituali procedure utilizzate finora nella pratica professionale, abbiamo cercato di rendere quanto più agevole possibile il compito del progettista nella interpretazione dell'analisi, predisponendo mappe di impegno a toni di colore e grafici per la sintesi dei risultati conseguiti, capaci di fornire un quadro informativo completo e di facile lettura.

Curve di capacità pushover

Per ogni analisi eseguita si costruisce una curva di equilibrio [accelerazione-spostamento], sulla quale sono chiaramente evidenziati i punti che rappresentano gli stati limite SLD, SLV e SLC. La curva è quindi schematizzata con un sistema bilineare equivalente e si calcolano le accelerazioni di picco al suolo ammissibili (pgaSLD, pgaSLV, pgaSLC) per gli stati limite di interesse. Il riconoscimento delle verifiche è facilitato da istogrammi a lettura immediata, che pongono a confronto le pga ammissibili e le corrispondenti accelerazioni di progetto.



Curve dell'analisi pushover con istogrammi di verifica per gli stati limite SLD, SLV e SLC.

Una informazione rilevante che si può ricavare dall'osservazione di una curva pushover è l'escursione tra l'accelerazione massima raggiunta (a_u) e quella al limite elastico (a_1), da cui dipende il cosiddetto rapporto di sovrarresistenza a_u/a_1 utilizzabile ai fini di una migliore caratterizzazione del fattore di struttura q . In questa accezione, un risultato conseguito mediante l'analisi statica non lineare può essere utilizzato per migliorare l'affidabilità dell'analisi lineare.

Implementazione della Gerarchia delle resistenze

Le regole progettuali della gerarchia delle resistenze mirano ad assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile sotto carico ciclico, impedendo l'attivazione di meccanismi fragili, come ad esempio le crisi di pressoflessione nei pilastri o di taglio nelle travi e nei pilastri. La pericolosità di questi meccanismi in corrispondenza ad azioni sismiche è infatti ampiamente documentata.

L'obiettivo viene realizzato attraverso una serie di regole pratiche di progettazione, che assicurino ai potenziali meccanismi fragili una sovrarresistenza tale da renderne improbabile che la loro attivazione avvenga prima di quelli duttili. La sovrarresistenza comporta tuttavia un sensibile sovradimensionamento della sezione resistente e delle armature, rispetto alle richieste di calcolo, peraltro fortemente dipendente dalla situazione locale in cui si trova l'elemento. Inoltre, anche in conseguenza del carattere euristico delle regole, una loro applicazione rigidamente burocratica potrebbe, quanto meno in casi di irregolarità strutturali, rendere problematico il dimensionamento della struttura, tanto da imporre un drastico ripensamento della soluzione strutturale adottata. Tutto ciò può risultare particolarmente oneroso in quanto, a meno che non si disponga di controlli analitici più sofisticati, le Ntc 2008 impongono l'applicazione della gerarchia delle resistenze, non solo per le strutture progettate in Classe A (alta duttilità), ma anche per quelle progettate in Classe B (bassa duttilità), sebbene con una lieve riduzione dei fattori di sicurezza adottati.

Tuttavia, la finalità di fondo che si vuole perseguire con la gerarchia delle resistenze può essere conseguita, in maniera più efficace e generalmente meno onerosa in termini di dimensionamento strutturale, controllando "a posteriori" le risorse di duttilità disponibili attraverso una analisi sismica statica non lineare (analisi pushover), che rappresenta uno strumento particolarmente potente per evidenziare l'insorgenza dei meccanismi tipici di collasso fragile, come ad esempio quello del piano debole, con formazione di cerniere plastiche pressoflessionali nei pilastri, o quelli dovuti a crisi di taglio.

In definitiva, la verifica che la struttura possieda adeguate risorse di duttilità può essere perseguita anche mediante l'analisi pushover, in sostituzione o in collaborazione con le regole euristiche di progettazione della gerarchia delle resistenze, come peraltro richiamato dalle stesse Ntc 2008, che a riguardo delle verifiche degli elementi strutturali in termini di duttilità e capacità di deformazione, citano testualmente:

Ntc 2008 punto 7.3.6.2

"Deve essere verificato che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una duttilità coerente con il fattore di struttura q adottato. Questa condizione si può ritenere soddisfatta applicando le regole di progetto specifiche e di gerarchia delle resistenze indicate per le diverse tipologie costruttive. Alternativamente, e coerentemente con modello e metodo di analisi utilizzato, si deve verificare che la struttura possieda una capacità di spostamento superiore alla domanda."

Opzioni di Gerarchia delle resistenze

Applicazione regole euristiche di gerarchia resistenze
 Escludi (controllo eseguito con analisi pushover) Default

Fattori di calcolo per pilastri
 Rap. m.pil./m.travi 1,10
 Rap. tagli/momenti 1,10
 Rid.area compressa 0,65

Fattori di calcolo per pareti
 Rap. tagli/momenti 1,00
 Ampl.forza assiale 1,50
 Rid.area compressa 0,40

Fattori di calco per travi
 Rap. tagli/momenti 1,00

Classe di duttilità di progetto
 Duttilità Classe B [bassa]

Nel foglio è possibile impostare i parametri che regolano l'applicazione della gerarchia delle resistenze, selezionando le regole da applicare e i relativi fattori di sicurezza.

Nel caso di edifici esistenti o quando si intenda procedere al controllo di duttilità "a posteriori" mediante analisi pushover, si può disattivare in blocco l'applicazione della gerarchia delle resistenze (cliccando sul pulsante Escludi) o attivarla in modo parziale.

Quadro riassuntivo analisi pushover

Forma e direzioni della spinta sismica
 acc.sismica Costante e Linear n.direzioni 4 Analisi

Fattori riduttivi della duttilità a collasso:
 riduzione per Travi e Pilastri 1,50 per Pareti (H>5*B) 1,60
 per carenze dettagli sismici 0,80 car. confinamento 0,70
 valori default riduzione della rotazione limite per SLV 0,75

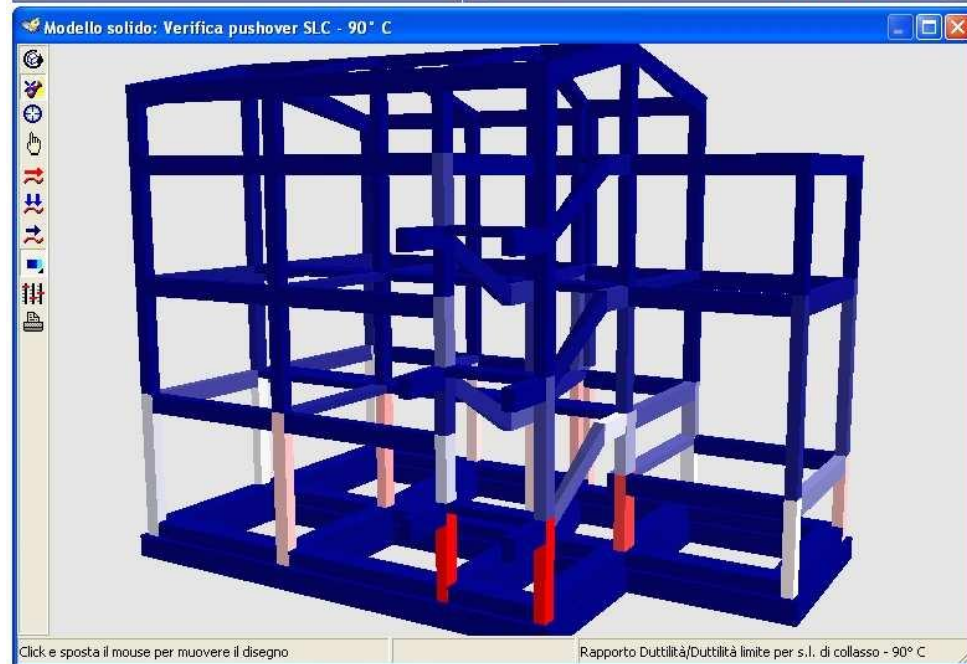
Accelerazione al suolo:
 pga richiesta (domanda) SLD 0,121 SLV 0,350 SLC 0,468
 pga ammissibile (capacità) 0,090 0,261 0,437

Duttilità limite
 valore ammissibile / richiesto SLD 0,738 SLV 0,731 SLC 0,929

Stima del fattore di struttura q (SLV)
 rapporto minimo di sovrarresistenza au/al
 calcolato dal rapporto di sovrarresistenza 1,26 Ris. Analisi
 calcolato dalla verifica di duttilità pushover 3,77 Ris.Verifica
 1,57 Curve push.

Verifica Pushover

id	dir	S.L.	Te	ay	ur	ux	pgar	pga	q_ef
1	0° C	SLD: Danno	0,65	0,27	0,61	0,12	0,12	0,12	3,15
		SLV: S.Vita	0,65	0,31	1,28	0,35	0,35	0,35	...
		SLC: Collasso	0,65	0,30	1,37	1,50	0,47	0,51	...
2	0° L	SLD: Danno	0,70	0,29	0,61	0,12	0,12	0,12	4,75
		SLV: S.Vita	0,72	0,33	1,32	1,66	0,35	0,44	...
		SLC: Collasso	0,73	0,34	1,43	2,16	0,47	0,70	...
3	90° C	SLD: Danno	0,61	0,26	0,56	0,12	0,12	0,12	1,57
		SLV: S.Vita	0,62	0,30	1,19	0,35	0,35	0,35	...
		SLC: Collasso	0,62	0,30	1,28	1,44	0,47	0,44	...
4	90° L	SLD: Danno	0,63	0,26	0,54	0,12	0,12	0,12	3,77
		SLV: S.Vita	0,65	0,33	1,16	0,35	0,35	0,35	...
		SLC: Collasso	0,66	0,34	1,25	1,44	0,47	0,53	...
5	180° C	SLD: Danno	0,64	0,27	0,60	0,12	0,12	0,12	3,06
		SLV: S.Vita	0,64	0,31	1,25	0,35	0,35	0,35	...
		SLC: Collasso	0,64	0,31	1,35	1,36	0,47	0,47	...
6	180° L	SLD: Danno	0,67	0,29	0,59	0,12	0,12	0,12	5,12
		SLV: S.Vita	0,69	0,34	1,26	1,64	0,35	0,45	...
		SLC: Collasso	0,70	0,34	1,35	2,14	0,47	0,73	...
7	270° C	SLD: Danno	0,61	0,26	0,56	0,12	0,12	0,12	1,63
		SLV: S.Vita	0,62	0,30	1,19	0,35	0,35	0,35	...
		SLC: Collasso	0,62	0,30	1,28	1,44	0,47	0,44	...



Con l'analisi pushover è possibile effettuare le verifiche di duttilità, che costituiscono una via alternativa all'applicazione della gerarchia delle resistenze. In figura, si può vedere un caso in cui tali verifiche risultano non soddisfatte, evidenziate dalle caselle in rosso nei fogli dei risultati. La vista degli impegni di duttilità nel modello 3D ci consente inoltre di individuare gli elementi critici e la modalità di collasso.

L'utilità di un codice veloce

Il dimensionamento ottimale degli elementi che minimizza i costi e assicura una buona risposta strutturale non è noto a priori. Il progettista può arrivarci solo attraverso un processo di affinamento graduale della soluzione iniziale, in funzione dei risultati ottenuti dall'analisi.

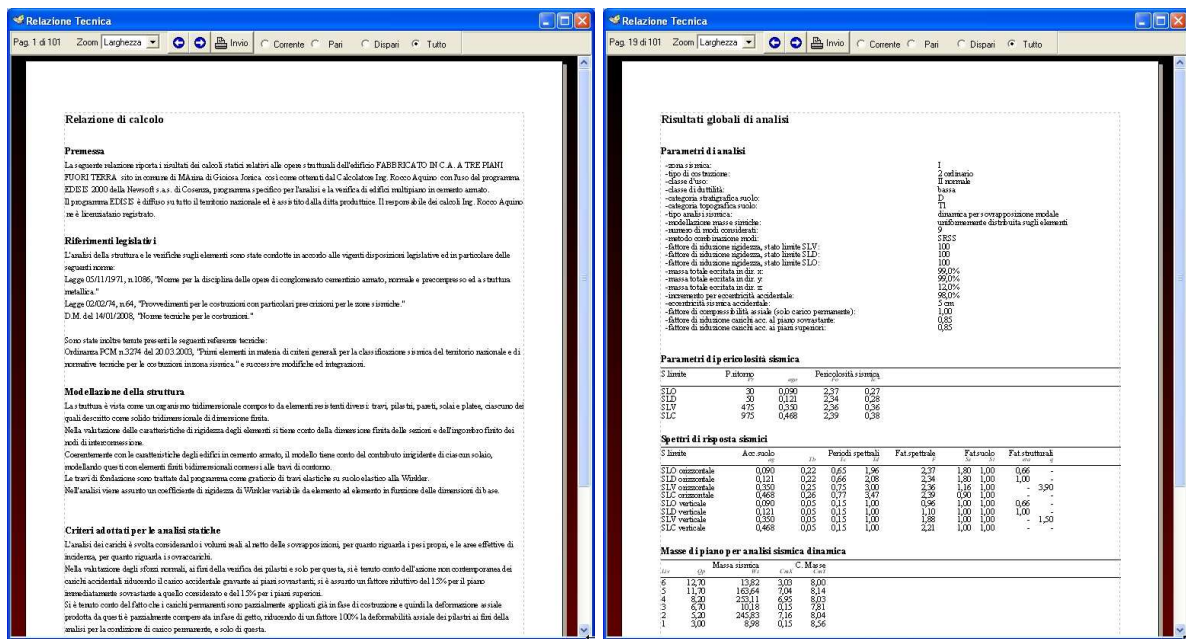
Tale modo di operare, tuttavia, diventa realmente perseguibile solo se lo strumento di analisi consente di modificare facilmente i dati, se i tempi di elaborazione non sono proibitivi e se è dotato di strumenti sintetici che facilitano l'interpretazione dei risultati. In Edisis tutto ciò non solo è possibile, ma anche piacevole, grazie all'efficienza del codice e ai supporti grafici di cui è dotato.

Risultati e disegni

Le opzioni di stampa del programma, consentono la selezione degli argomenti da includere nella relazione e i disegni da impaginare. L'esito della composizione sarà immediatamente visibile nelle anteprima di stampa.

Il tabulato

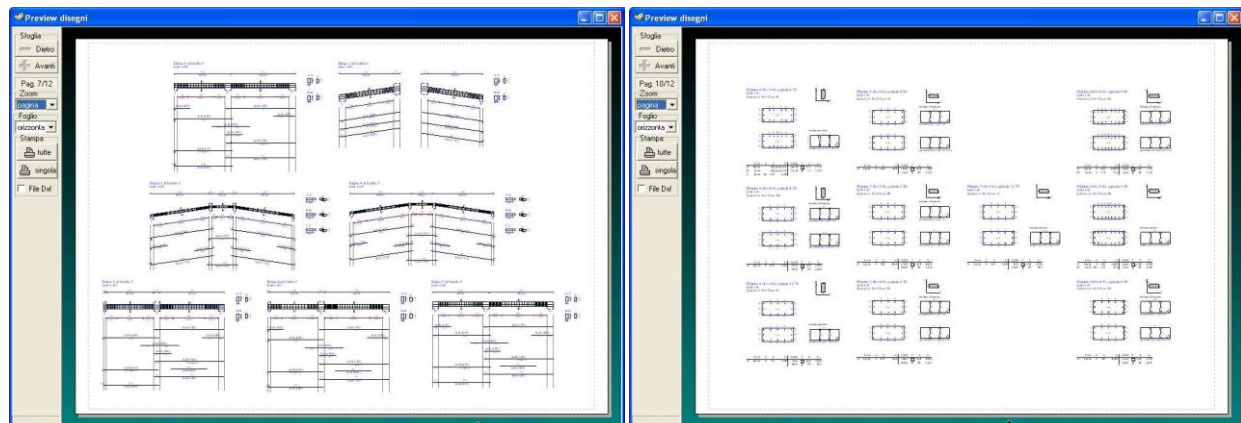
Il tabulato si apre con una relazione introduttiva contenente i riferimenti legislativi e cenni descrittivi sul modello di calcolo. Seguono i dati descrittivi, i risultati di analisi, le sollecitazioni di verifica, la descrizione dell'armatura presente negli elementi e i risultati delle verifiche. Può essere agevolmente consultato a video tramite l'anteprima di stampa e quindi stampato o esportato come documento Rtf su qualsiasi word-processor.



Anteprima della relazione di calcolo.

I disegni

I disegni prodotti sono le piante, le sezioni sui telai, prospettive solide, le carpenterie delle travi e dei plinti e le tabelle pilastri. Come per il tabulato, l'utente può selezionare i disegni da stampare e visualizzare le tavole impaginate nell'anteprima di stampa. I formati di impaginazione dipendono dalla stampante correntemente selezionata e può variare dall'A4 all'A0, in foglio singolo o modulo continuo. La stampa può avvenire per singole tavole o in sequenza per tutte. In alternativa alla stampa diretta c'è la possibilità di esportazione Dxf per successive elaborazioni su Cad esterni.



Anteprima di impaginazione dei disegni.