

Modellazione ad elementi finiti di strutture, anche generiche, nuove ed esistenti. Analisi lineari e non lineari.

IL PIACERE DI MODELLARE

I molteplici strumenti di modellazione e di controllo rendono piacevole la definizione del modello e la progettazione, con l'obiettivo, non secondario, di mettere il professionista nelle condizioni di avere il pieno controllo sul proprio lavoro.

Sono disponibili diversi tipi di elementi finiti: aste reticolari, soggette solo a sforzo normale; aste generiche, soggette a sei sollecitazioni, alle cui estremità possono essere associati sconnessioni (anche parziali) oppure rigidità di collegamento, offset strutturali e concetti rigidi; vincoli; plinti; elementi guscio/piastra quali piastre di solaio (anche svincolate sui bordi), volte, cupole; isolatori sismici a comportamento lineare; elementi lastra per la modellazione di travi tozze e pareti; elementi assialsimmetrici, per strutture a simmetria assiale e di carico (serbatoi); elementi in stato piano di deformazione, per la rappresentazione di strutture a forma allungata, come gallerie e opere scatolari. Possono essere modellate tutte le opere di fondazione di interesse comune, quali travi su suolo elastico, pareti di fondazione, platee, palificate, plinti.

Molti parametri di progetto vengono ricavati da specifici data base liberamente aggiornabili: materiali, sezioni, carichi, combinazioni di carico, coefficienti di sicurezza, tensioni di calcolo di calcestruzzo e acciaio, minimi di norma, profili in acciaio, ecc.

Tra le caratteristiche dei materiali, generici, isotropi e ortotropi, è possibile imporre la riduzione della rigidità flessionale e tagliante, anche in maniera differenziata per i vari elementi (travi, pilastri etc.).

L'utente ha a disposizione un'ampia gamma di sezioni da poter scegliere da archivi predefiniti, sezioni ripetitive o normalizzate, ad esempio i profili singoli formati a caldo, i profili a freddo di varia sagoma, a U, a C, a L, a Z, gli "omega" etc.; profili doppi in diverse modalità di accoppiamento. Sono gestibili anche sezioni del tutto generiche, anche composte da più materiali, che vengono

definite tramite una specifica procedura di disegno e di calcolo delle proprietà statiche, in grado di riconoscere e interpretare la sagoma letta in formato disegno.

Su modello strutturale e proprietà si può intervenire in qualunque fase, tramite operazioni di selezione in modo da effettuare modifiche geometriche, di proprietà o di carico. Ogni intervento è assistito dall'anteprima che anticipa l'eventuale conferma definitiva.

La modellazione si effettua in ambiente grafico tridimensionale procedendo sia in modalità unifiare che solida, con rimozione delle superfici nascoste; è possibile parzializzare arbitrariamente la struttura, ricondursi a rappresentazioni 2D, effettuare viste piane e prospettiche, assonometrie, sezioni.

Strumenti di copia, trasla, specchia, che operano con qualunque sistema di riferimento, consentono di costruire rapidamente l'intero modello.

È possibile importare parti strutturali sviluppate in modelli separati (ad esempio una copertura progettata separatamente).

I fili fissi possono essere acquisiti direttamente da un disegno dxf o dwg e consentono di attribuire agli elementi attribuiti degli scostamenti (offset), rispetto alla loro posizione teorica, indispensabili per produrre correttamente gli esecutivi. In parallelo a tali scostamenti "architettonici", validi solo per i disegni, possono essere però introdotti gli offset strutturali, che hanno invece effetto solo sui risultati del calcolo.

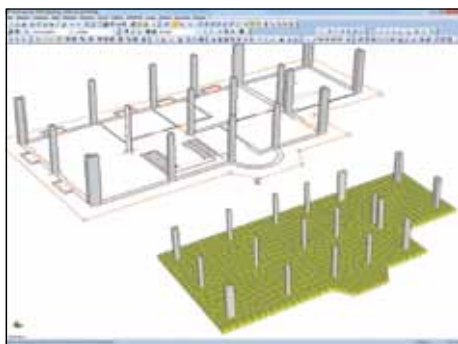
Per un'adeguata modellazione sono inoltre disponibili relazioni di piano rigido, che consentono di considerare la presenza dell'impalcato, anche su isolate porzioni di solaio, o più di uno ad una stessa quota ed anche su falde inclinate, di corpo rigido, in grado di unire due corpi disgiunti nella modellazione ma accomunati nel comportamento strutturale, di link, che obbliga invece i nodi coinvolti ad assumere le medesime deformazioni per le direzioni interessate. Se l'analisi è di tipo lineare le pareti vengono di solito modellate mediante elementi bidimensionali, per rappresentare più facilmente il comportamento scatolare dell'edificio. Ma MasterSap consente pure l'adozione di schemi a telaio equivalente composti da elementi monodimensionali (maschi murari e travi di collegamento), che sono gli unici adottabili con analisi "pushover".

RICONOSCIMENTO DA DISEGNO DXF/DWG

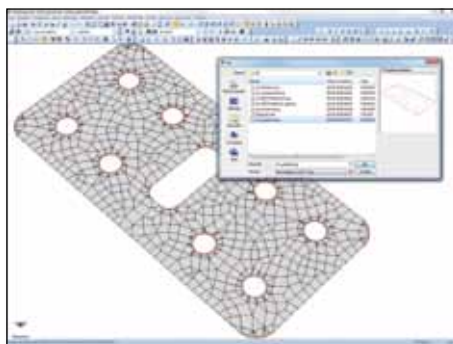
In una pianta architettonica, MasterSap riconosce i pilastri dai restanti particolari costruttivi e genera tutte le informazioni strutturali. Analogamente da disegno possono essere facilmente riconosciuti le pareti di edifici in muratura o c.a., ma, più in generale, anche piastre di geometria articolata, eventualmente forate. È anche possibile importare l'intero disegno 3D di strutture anche complesse (quali volte, cupole ecc.) e procedere alla generazione della geometria dell'intero modello.

CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

I **carichi** sono archiviati in una banca specifica e vengono distinti per **azione** e **categoria**; e pertanto il processo di inserimento è immediato: importazione dalla banca desiderata e attribuzione a una arbitraria condizione di carico del progetto.



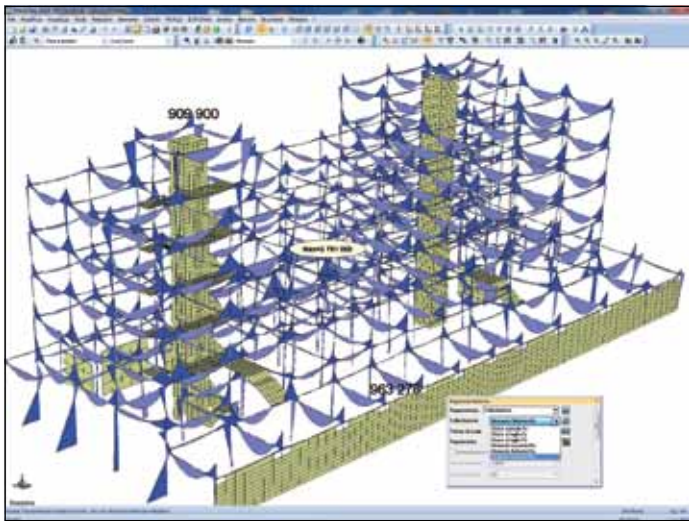
La generazione del modello è facilitata da molteplici strumenti di acquisizione automatica della geometria da disegno DXF/DWG.



A partire da un disegno caricato e liberamente posizionato nello spazio, con pochi clic si può generare la mesh di una piastra forata.



I fili fissi realizzano l'adeguamento strutturale alle esigenze architettoniche.



Rappresentazione ed interrogazione dei momenti flettenti in una struttura in c.a., è possibile visualizzare tutte le sollecitazioni e gli stati tensionali derivanti dall'analisi.

Altrettanto immediato e automatico è l'inserimento delle **combinazioni di carico**, che MasterSap importa da un'ulteriore banca generale, distinte in combinazioni statiche e sismiche allo stato limite ultimo, di esercizio e allo stato limite di danno. I relativi coefficienti parziali di sicurezza e di combinazione dei carichi vengono automaticamente assegnati e possono essere eventualmente liberamente aggiornati.

La tipologia di carico per tutti gli elementi è del tutto generale e riguarda carichi lineari, di superficie (pressioni), forze concentrate, applicabili in qualunque direzione, locale o globale, con una generica distribuzione dell'azione. Sono gestiti i carichi termici.

L'assegnazione dei carichi sulla struttura è agevolata da funzioni che distribuiscono i carichi di solaio sulle travi di impalcato, precisando eventuali vuoti di solaio. Funzioni automatiche sono predisposte anche per altri casi, come per la distribuzione della pressione idrostatica o di quella agente sui muri contro terra.

Si possono importare i carichi nodali eventualmente calcolati in modelli distinti, generalmente ravvisabili come reazioni vincolari e calcolati anche mediante altri programmi di analisi strutturale.

STRUMENTI DI DIAGNOSTICA

La diagnostica assume un'importanza strategica: in fase iniziale vengono individuati e filtrati evidenti difetti di impostazione del modello, e, prima del calcolo strutturale, vengono evidenziati difetti di modellazione di livello superiore.

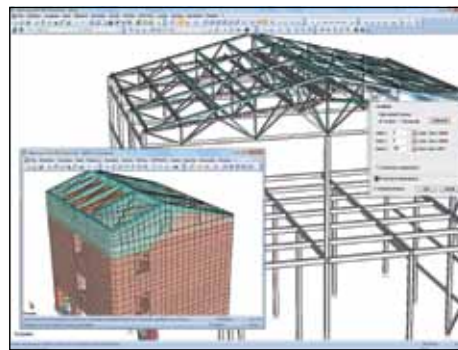
STRUMENTI DI RICERCA, INTERROGAZIONE E RAPPRESENTAZIONE

È sempre possibile modificare i dati o procedere all'interrogazione dei parametri di progetto. È possibile copiare le proprietà di un elemento ad altri; numerose sono le tecniche di selezione e di ricerca che consentono una assoluta padronanza del modello. Di grande rilievo e importanza per il progettista sono le attività di controllo sulla struttura, che avvengono tramite tre funzioni fondamentali: la ricerca, l'interrogazione e la rappresentazione.

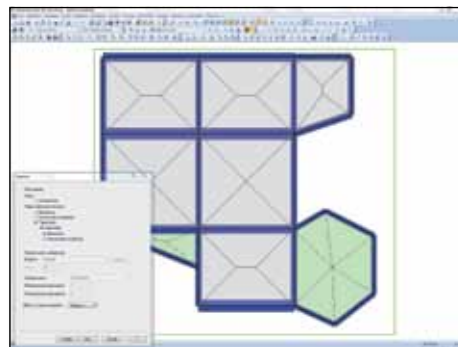
Il comando "Trova" effettua la ricerca degli elementi caratterizzati da una stessa proprietà: sezione, materiali, carichi ecc. Gli elementi trovati possono essere poi selezionati, congelati, resi visibili, oscurati per ulteriori gestioni dell'evento. Le funzioni di interrogazione evidenziano sia le proprietà del modello che i risultati dell'analisi semplicemente puntando l'argomento desiderato. Le funzioni di rappresentazione grafica riguardano sia i dati di input che i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale, adottando diagrammi o mappe a colori, che evidenziano immediatamente eventuali casi di sofferenza o di sovradimensionamento della struttura.



La modellazione di strutture murarie con gusci è facilitata da appositi strumenti di riconoscimento della geometria da disegno DXF/DWG, forometrie incluse. La congruenza della mesh viene garantita da specifiche procedure automatiche.



Se dopo aver modellato una capriata metallica o il timpano in una struttura in muratura si vuole modificare la quota di colmo, "stira nodi" allunga gli elementi mantenendo gli allineamenti.

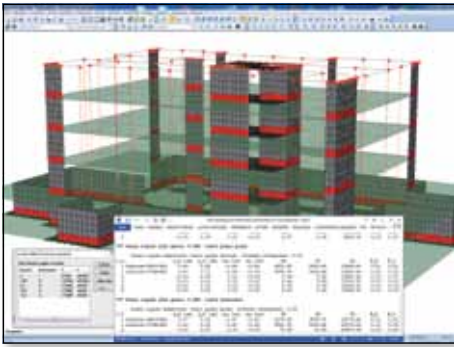


I carichi di solaio sono calcolati automaticamente ed applicati alle relative travi sia per solai unidirezionali che per solai a piastra (baricentrica, proporzionale a lunghezza o trapezoidale come in figura).

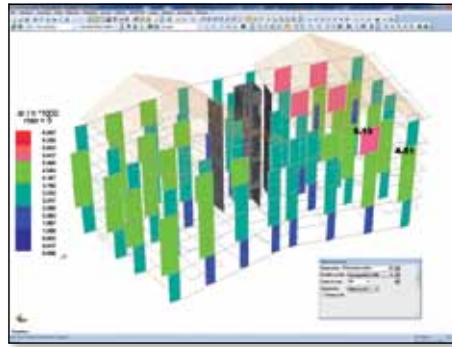


LE TRAVI RETICOLARI MISTE (E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE ANALOGHE)

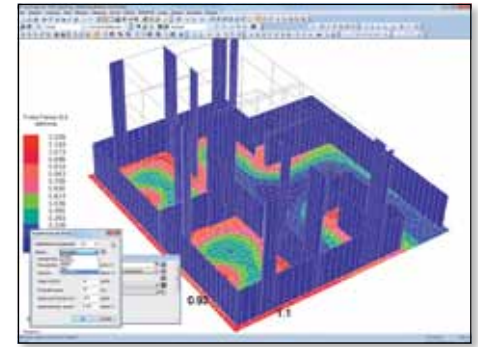
MasterSap consente di eseguire l'analisi anche per le travi reticolari miste prefabbricate, gestendo automaticamente in un unico modello il comportamento della struttura **nelle due "fasi"** tipiche di questa tecnica costruttiva: prima della maturazione dei getti, quando le travi prefabbricate, autoportanti, presentano uno schema di funzionamento isostatico, e nella fase di esercizio, dove la struttura assume l'usuale assetto iperstatico delle opere intelaiate a nodi rigidi.



MasterSap esegue il controllo automatico degli effetti del second'ordine per ogni piano e consente, nei casi previsti, di incrementare le forze sismiche.



Calcolo e rappresentazione delle delle deformazioni relative di piano nei casi previsti dello stato limite di Danno (SLD) e Operatività (SLO).



Verifiche geotecniche: calcolo della capacità portante, dello scorrimento e verifica della pressione sul suolo, in figura per una platea.

I SOLUTORI LINEARI E NON LINEARI, PUSHOVER

Il solutore principale, (denominato LIFE), è integrato da oltre quindici anni in MasterSap; è stato sottoposto, fin dall'origine, ad una serie intensiva di test di validazione raccolti in un documento specifico di validazione del solutore, in attuazione di quanto disposto dal cap. 10 delle NTC 2018. Oltre che per l'affidabilità e attendibilità dei risultati, LIFE si qualifica per le straordinarie prestazioni in termini di velocità, di assoluta preminenza in campo internazionale.

MasterSap contempla anche procedure opzionali di **analisi non lineare**, che consente di trattare: la non linearità del secondo ordine (o geometrica), vale a dire considerare l'azione dei carichi sulla struttura deformata e non su quella indeformata originaria, l'esame di strutture con presenza di elementi resistenti a sola trazione (ad esempio controventi) o a sola compressione, l'analisi di buckling per valutare la stabilità globale della struttura e determinare il carico critico.

Un commento a parte spetta all'analisi non lineare comunemente denominata **pushover**, realizzata con un solutore specifico denominato Exstra, che contempla l'applicazione di azioni orizzontali gradualmente crescenti fino a portare la struttura al raggiungimento delle condizioni ultime. La risposta non lineare della struttura è causata dal comportamento assunto dagli elementi resistenti, che in MasterSap viene descritto dalle "plasticità concentrate" (cerniere plastiche).

MasterSap contempla **cerniere plastiche** di varia natura: dalle "semplici" bilineari, che legano la singola caratteristica di sollecitazione alla relativa deformazione, alle NM, alle più complesse NMM, nelle quali la plasticizzazione della cerniera è governata da entrambi i momenti flettenti (M_y e M_z) e dall'azione assiale (N).

Al termine dell'analisi, oltre alle usuali funzioni di rappresentazione e di stampa, **MasterSap** elabora automaticamente il grafico della curva di capacità, che rappresenta in ordinata il taglio alla base agente sulla struttura e in ascissa il valore di spostamento raggiunto dal punto di controllo, la curva bilineare del sistema equivalente, che permette di effettuare la verifica globale del sistema rispetto alla domanda derivante dallo spettro di risposta elastico, le deformazioni relative ai vari livelli dell'edificio e il rapporto ζ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e quella massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione, così come richiesto al cap. 8 delle NTC 2018.

IL CALCOLO SISMICO

Il calcolo sismico può essere condotto con il metodo statico o dinamico. Per ciascuna combinazione di carico statica MasterSap determina lo stato deformativo e di sollecitazione della struttura.

In conformità alle NTC 2018 sono gestiti i casi di comportamento strutturale dissipativo e non dissipativo, oltre che il caso dell'analisi semplificata per strutture ricadenti in zone a bassa sismicità. Vengono effettuati tutti i particolari controlli previsti dalle NTC 2018, come quello sulle deformazioni relative (SLD e SLO), la verifica sugli effetti del secondo ordine e quelli relativi alla regolarità dell'edificio in altezza, con particolare riferimento al controllo delle variazioni di massa e rigidità. Viene determinata la percentuale di azione tagliante assorbita da pilastri e pareti, ma anche da una generica sottostruttura verticale liberamente definita dall'utente.

MasterSap consente di applicare l'Eurocodice 8 prevedendo, fra l'altro, la registrazione dei parametri caratteristici degli spettri di risposta dei Paesi interessati dagli Eurocodici. Per altri Paesi è sempre possibile definire liberamente lo spettro di risposta (s.l.u, s.l.d., elastico) da applicare alla struttura.

VERIFICHE GEOTECNICHE

Una specifica rappresentazione grafica esegue l'attuazione delle verifiche geotecniche, in particolare la pressione ultima e la capacità portante del terreno per platee e travi di fondazione. Impostando le proprietà geotecniche, il criterio di calcolo e i coefficienti parziali di sicurezza si ha accesso a più modalità rappresentative dei risultati, fra cui l'indice di resistenza, che rapporta la pressione sul terreno con la capacità portante.

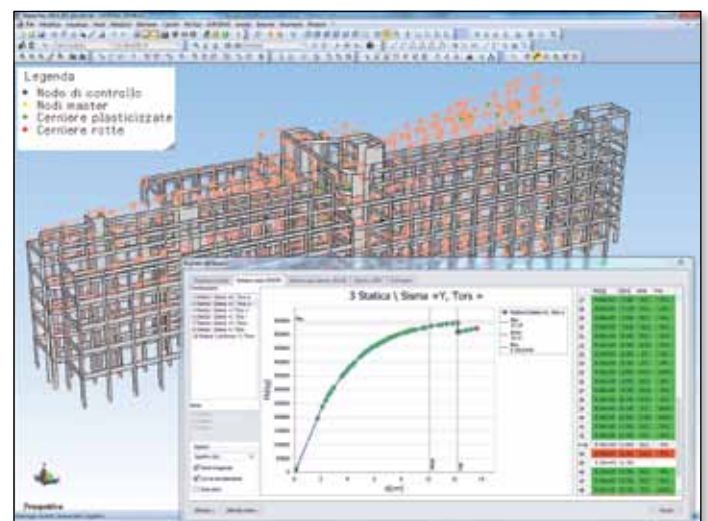
LE STAMPE

Le stampe dell'input e dei risultati dell'analisi strutturale, anche in lingua straniera, possono essere liberamente suddivise e frazionate in modo da ridurre il tabulato allo stretto indispensabile.

Una apposita procedura **Relazione di progetto** è stata invece ideata per comporre la relazione generale di calcolo. AMV ha infatti predisposto una relazione standard, composta da tutti i documenti richiesti, che può essere poi liberamente modificata dall'utente.

APPRENDIMENTO ALL'USO

MasterSap è corredato da un corso multimediale di autoapprendimento, con molti e vari esempi applicativi, che possono essere di valido aiuto e affiancano i servizi di assistenza e consulenza, anche gratuiti, comunque forniti dalla società. È gratuitamente a disposizione di tutti gli utenti anche il corposo Videocorso Strutturale "*Le norme tecniche e la soluzione applicativa in MasterSap*": articolato in 10 capitoli offre un concreto aiuto all'interpretazione degli aspetti applicativi delle NTC e alla soluzione dei casi pratici in MasterSap.



Analisi pushover di una struttura esistente in c.a.