

PROGETTO DELLE OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO: DALL'ANALISI ALLA VERIFICA

Sempre aggiornato alle norme tecniche italiane ed europee

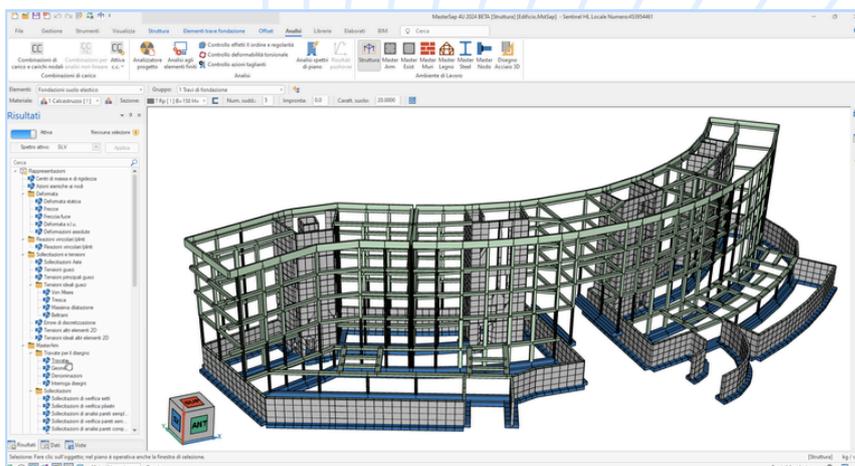
La verifica delle opere in cemento armato realizza il dimensionamento di travi, pilastri, setti, fondazioni, plinti, pareti, platee, solette, applicando il metodo degli stati limite (o delle tensioni ammissibili).

La procedura è pienamente conforme alle norme vigenti NTC2018 e relativa Circolare 2019, ma permette di adottare anche i criteri di verifica secondo gli Eurocodici o di normative previgenti, come NTC2008 e DM96, funzione utile per il progetto simulato di strutture esistenti in c.a. Le verifiche e il dimensionamento fanno riferimento ad archivi in cui sono registrati per ciascuna norma i parametri che influiscono nel progetto e i dettagli costruttivi minimi statici. Per chiarezza espositiva nel seguito faremo riferimento al caso delle NTC2018. Il dimensionamento avviene a valle dell'analisi strutturale. La procedura riconosce automaticamente le tipologie strutturali presenti nel modello e a ciascuna assegna le proprietà idonee alla verifica, che sono quelle predefinite dall'utente, non viene tuttavia preclusa la possibilità di impostare appropriati e specifici criteri di progettazione anche al singolo elemento: la rapidità non preclude quindi la versatilità.

Il dimensionamento sismico rispetto alle NTC2018 prevede l'applicazione delle regole previste in funzione del comportamento strutturale scelto: dissipativo o non dissipativo.

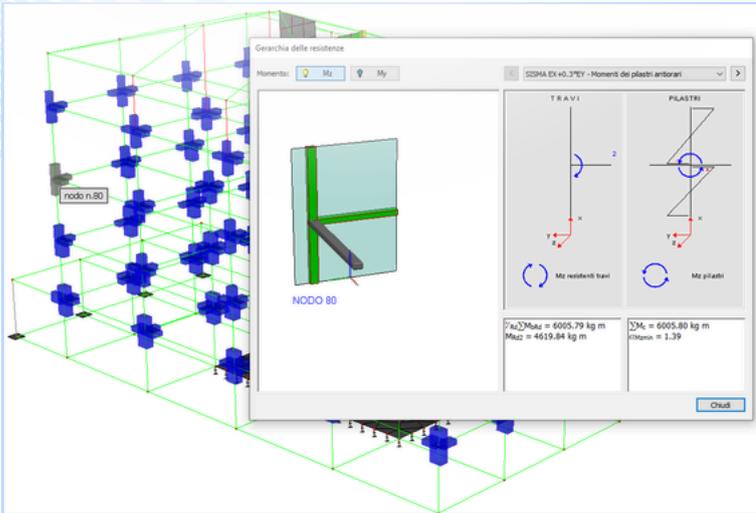
VERIFICHE E CONTROLLI NORMATIVI DI STRUTTURE A COMPORTAMENTO DISSIPATIVO

Nella progettazione in capacità la domanda di resistenza degli elementi strutturali non può essere più gravosa di quanto risulterebbe a seguito del dimensionamento con comportamento non dissipativo. Questa specifica novità, introdotta nelle NTC2018 al §7.2.2, ha comportato una riduzione degli effetti più severi della gerarchia delle resistenze trave-pilastro, della verifica a taglio sismico dei pilastri (con ottimi risultati per i pilastri tozzi) e della verifica dei nodi trave pilastro.



Per le travi e travi di fondazione vengono eseguite le verifiche s.l.u e s.l.e. dimensionando a pressoflessione, taglio e torsione, ma rispettando anche i limiti progettuali liberamente fissati dall'utente, come ampiezza delle fessure o rapporto massimo freccia/luce. Vengono così determinate le armature minime sul perimetro della sezione, gli indici di resistenza (s.l.u.) e lo stato tensionale, deformativo e di fessurazione (s.l.e.).

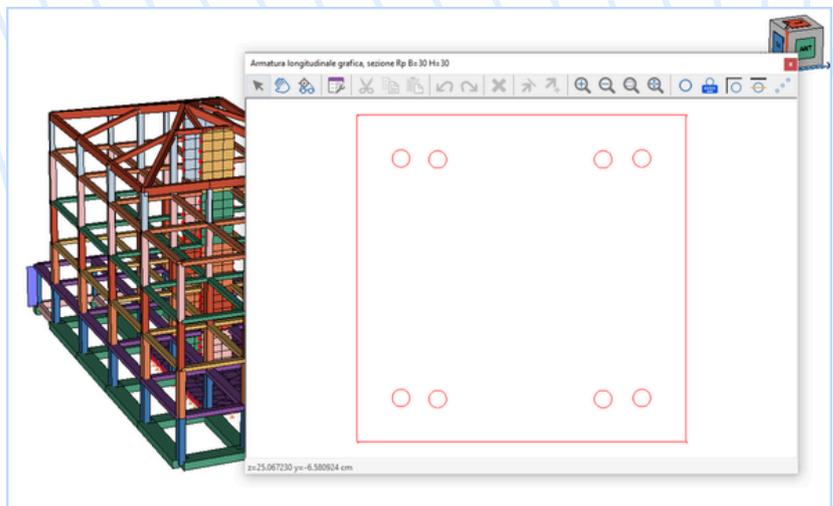
Vengono verificate anche situazioni derivanti da tutte le possibili combinazioni dei carichi permanenti e variabili ed eventualmente imposti momenti positivi di sicurezza in campata. Per le fondazioni (travi di fondazione, platee ecc.) la procedura effettua, come richiesto dalle NTC2018, un calcolo sostanzialmente elastico, che di fatto limita il momento resistente delle sezioni nelle combinazioni di carico sismiche, applicando inoltre il minimo di armatura anche per le platee introdotto appunto dalle NTC 2018.



Per i pilastri, nell'applicazione della gerarchia delle resistenze viene si riconoscono le travi convergenti a ciascun pilastro, vengono letti i momenti resistenti, superiori e inferiori delle travi stesse che determinano, per effetto della gerarchia trave-pilastro, i momenti flettenti delle colonne e le condizioni generali per il dimensionamento dell'armatura. Come nel caso delle travi, il progetto dell'armatura dei pilastri viene completato aggiornando le staffe sulla base dei momenti resistenti di estremità (in applicazione della gerarchia taglio-flessione).

Sono garantiti i cosiddetti dettagli costruttivi sia per quel che riguarda le limitazioni geometriche e di armatura, sia per quel che riguarda la duttilità, evitando così la verifica esplicita di duttilità delle sezioni. Vengono gestite anche situazioni specifiche di armatura, quali quelle dei pilastri delle strutture prefabbricate, per cui l'altezza della zona critica viene valutata in modo diverso da quanto previsto per gli edifici ordinari. È anche possibile effettuare il dimensionamento di pilastri non solo di forma qualsiasi, ma anche con distribuzione generica dell'armatura, come avviene, ad esempio, nel campo della prefabbricazione. La procedura controlla che l'armatura assegnata liberamente dall'utente soddisfi le verifiche s.l. (slu e sle), i minimi di norma e l'applicazione della gerarchia delle resistenze.

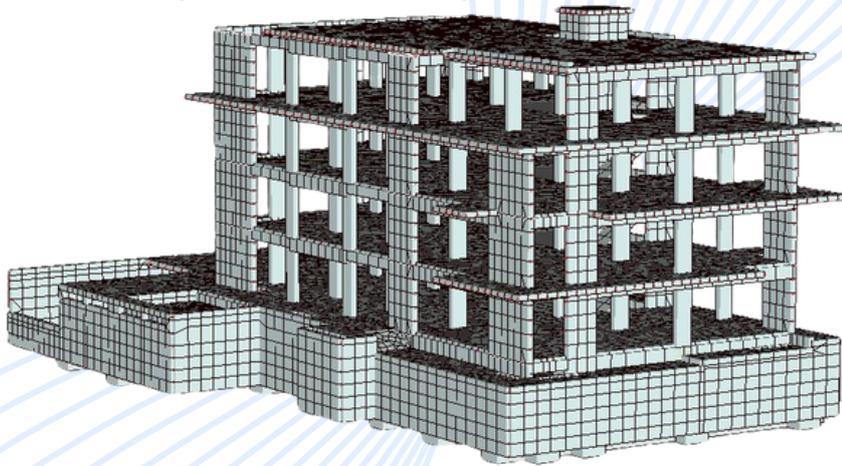
È anche possibile effettuare il dimensionamento di pilastri non solo di forma qualsiasi, ma anche con distribuzione generica dell'armatura, come avviene, ad esempio, nel campo della prefabbricazione. La procedura controlla che l'armatura assegnata liberamente dall'utente soddisfi le verifiche s.l. (slu e sle), i minimi di norma e l'applicazione della gerarchia delle resistenze.



Sono eseguite automaticamente anche le verifiche previste per i nodi trave-pilastro, di cui le NTC 2018 prevedono una verifica esplicita, anche in classe di duttilità media e anche per comportamento strutturale non dissipativo. La verifica dei nodi trave-pilastro viene eseguita contestualmente alla verifica dei pilastri e avviene a valle del dimensionamento delle travi, in quanto la domanda a taglio sul nodo è funzione delle armature presenti nelle travi che vi convergono.

Per solette e platee si procede al dimensionamento dell'armatura necessaria anche a taglio e a punzonamento. Lo stesso per i plinti, dove viene determinato anche lo stato di pressione sul suolo allo s.l.u. e allo s.l.e (in una fase di calcolo diversa, quindi, da quanto avviene per le altre opere di fondazione).

Per setti e pareti è necessario aggiornare le sollecitazioni ottenute dall'analisi ricostruendo l'andamento dei momenti flettenti e del taglio lungo l'intero sviluppo dell'elemento come previsto dalla norma. Anche in questo caso la procedura applica i dettagli di armatura previsti, incluso il minimo di duttilità, che consente di evitare la verifica esplicita di duttilità, vengono quindi eseguite le verifiche a taglio e scorrimento specificatamente previste per i setti.



Si possono verificare anche "pareti semplici" e "pareti composte", come definite dalla norma: in questo caso la procedura provvede all'integrazione dello stato tensionale per determinare le sollecitazioni derivanti dall'analisi da cui vengono ricavate, infine, le forze da utilizzare nel dimensionamento.

VERIFICHE E CONTROLLI NORMATIVI DI STRUTTURE A COMPORTAMENTO NON DISSIPATIVO

A fronte della scelta dell'utente di progettare la struttura a comportamento non dissipativo, specifica definita nelle proprietà del progetto, come previsto dalle NTC2018 la procedura non applica la progettazione in capacità imposta per le strutture dissipative; non vengono quindi applicati né la gerarchia delle resistenze, né i dettagli costruttivi geometrici e di armatura, né i minimi per la duttilità. Per le sole combinazioni di carico sismiche tutti gli elementi strutturali vengono dimensionati limitando il momento resistente allo s.l.u. al momento resistente massimo in campo "sostanzialmente elastico", come definito al paragrafo 4.1.2.3.4.2. La verifica dei nodi trave-pilastro viene eseguita con le regole della CD "B". Questa novità delle NTC 2018 è piuttosto rilevante, perché comporta conseguenze non trascurabili, in particolare per strutture in cui, tipicamente, l'uso delle travi in spessore è piuttosto diffuso. Certamente le NTC 2018 hanno accentuato l'attenzione su temi quali duttilità e dettagli costruttivi: i nodi trave-pilastro rientrano in questo novero, tanto che i criteri di progettazione sono identici indipendentemente dal comportamento strutturale scelto: dissipativo o non dissipativo. In entrambi i casi, per il dimensionamento dei nodi trave-pilastro, si adotta la progettazione in capacità; si ricorda che è possibile applicare la limitazione della domanda di resistenza alle condizioni di lavoro del calcolo non dissipativo, oltre che l'opzione della Circolare 2019.

LE TRAVI RETICOLARI MISTE

Per questa tecnica costruttiva, l'analisi strutturale procede nelle due "fasi" tipiche di questa tecnologia, la procedura di progetto provvede poi a determinare l'armatura aggiuntiva da porre in opera agli appoggi.

LA RIVERIFICA DEGLI ESECUTIVI DELLE TRAVI

Questa funzione diventa utile nei casi in cui sia necessario accertare l'idoneità strutturale di travi, che già sono state in precedenza dimensionate e disegnate, a fronte di un nuovo stato di sollecitazione dell'opera, ad esempio per effetto di una variante.

Il comando "Riverifica esecutivi travi" legge le armature dei disegni esecutivi precedentemente realizzati ed evidenzia gli eventuali elementi in difetto.

L'utente potrà quindi limitarsi ad aggiornare solo tali esecutivi.

LE RAPPRESENTAZIONI DEI RISULTATI

I risultati possono essere esaminati, oltre che su stampa, anche graficamente; vengono rappresentati gli indici di resistenza a rottura (a presso-tensoflessione e a taglio/torsione), le armature e, per le travi, il rapporto x/d che caratterizza il comportamento locale duttile delle sezioni.

Altri strumenti grafici consentono il controllo immediato dei nodi trave-pilastro per cui è stata eseguita la gerarchia delle resistenze.

In solette, platee e pareti tozze viene definita una rete di base, alla quale potrà essere aggiunta ulteriore armatura. In questi casi sono particolarmente utili le mappe a colori, che evidenziano le zone in cui è necessario inserire armatura oltre alla rete di base.

IL PROGETTO SIMULATO

L'ambiente di progetto delle opere in c.a. può essere utilizzato anche per la valutazione della sicurezza degli edifici esistenti, di cui è necessario conoscere l'armatura degli elementi strutturali. A tal fine le norme prevedono la possibilità di "simulare" il progetto applicando la norma vigente all'epoca della costruzione e ricavando così la presunta armatura in opera. Questo il motivo per cui nella procedura si continua a prevedere la possibilità di adottare anche metodi di verifica adottati nel passato.

