



## Note per l'analisi di edifici esistenti in c.a. con Edisis v.11

Edisis v.11x è un programma di calcolo strutturale per la modellazione e l'analisi di edifici in c.a. Le caratteristiche e le funzioni di cui è dotato lo rendono indispensabile sia per il progetto delle nuove costruzioni, sia per la verifica ed il rinforzo di quelli esistenti, come vedremo in questa pubblicazione. In quest'ultimo caso, trovano applicazione i criteri e le disposizioni di normativa, riportate al capitolo 8 delle Ntc18 e al capitolo C8 delle relative istruzioni (C.M. n.21/19), che è utile richiamare sinteticamente. Entriamo nell'argomento descrivendo sommariamente le fasi principali che sono tipicamente richieste per affrontare una analisi di questo tipo.

### Rilievo dello stato di fatto

In questa fase si esegue il rilievo dell'edificio allo stato di fatto, con riguardo agli aspetti geometrici, ai dettagli costruttivi, alla caratterizzazione dei materiali ed alla ricostruzione della storia edificatoria dell'edificio.

Particolare attenzione sarà riservata allo stato di conservazione degli elementi resistenti ed alla valutazione delle loro capacità meccaniche, mediante una campagna di prove più o meno estese in funzione delle necessità contingenti e differenziate per i vari materiali: cemento armato e acciaio ed eventualmente per livelli o zone di esposizione diverse dell'edificio.

Il livello di conoscenza raggiunto in questa fase avrà una ricaduta diretta sui risultati di analisi in quanto porta anche all'adozione di valori più o meno alti dei fattori di confidenza, previsti dalle Ntc18 al §8.5.4 come fattori di sicurezza da applicare alle caratteristiche meccaniche medie dei materiali allo stato di fatto.

E' inoltre importante che nel rilievo dello stato di fatto si presti la massima attenzione all'individuazione dello stato di degrado degli elementi, di stati fessurativi anomali o di vere e proprie lesioni che possono rappresentare segni premonitori di carenze strutturali anche gravi. In questi casi il tecnico dovrà approfondire l'esame, riconoscere le cause del degrado, introdurre gli effetti nel modello di calcolo ed attendere un riscontro coerente dai risultati delle verifiche, quanto meno per i carichi statici nelle combinazioni permanenti o di lunga durata.

### Fattore di confidenza

Il fattore di confidenza è un fattore di sicurezza riguardante i materiali della struttura esistente, da assumere in base al livello di conoscenza raggiunto nelle indagini preliminari (analisi storico-critica, rilievi, caratterizzazione meccanica dei materiali), anche in maniera differenziata per il calcestruzzo e per il ferro.

Per edifici in c.a., le incertezze maggiori sono tipicamente sul calcestruzzo e di solito sono minori per il ferro che, per le caratteristiche di produzione standardizzata, è affetto da una minore variabilità, ma in ogni caso sono sempre da considerare possibili fenomeni di deterioramento avvenuti nel tempo.

I fattori di confidenza vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare nel progetto o nella verifica e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza del materiale (fattori  $\gamma$ ).

Nell'analisi di edifici esistenti i fattori di confidenza hanno un duplice scopo (§C8.7.2.2):

- per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili: le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i fattori di confidenza;
- per definire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi duttili a quelli fragili; a tale scopo, le resistenze medie degli elementi duttili, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono moltiplicate per i fattori di confidenza.

## Novità Edisis V11

*Per i materiali costituenti il c.a (calcestruzzo e barre d'armatura) è prevista la possibilità di caratterizzare lo stato del materiale come nuovo o esistente e, in quest'ultimo caso, di esplicitare il fattore di confidenza.*

### Definizione del modello e dei materiali

Si procede quindi con la costruzione del modello di calcolo in Edisis v.11, sfruttando alcune funzionalità del programma che consentono di:

- importare un file dati creato con versioni precedenti comprensivo delle armature progettate all'epoca della realizzazione,
- definire in dettaglio le caratteristiche meccaniche dei materiali (calcestruzzo e ferro) in funzione del livello di conoscenza raggiunto e impostazione esplicita del fattore di confidenza,
- definire in dettaglio la quantità di armatura (longitudinale e trasversale presente negli elementi), per impostazione diretta o mediante "progetto simulato",
- eseguire l'analisi sismica lineare (dinamica modale) con fattore  $q$  e le relative verifiche,
- eseguire l'analisi sismica statica non lineare (analisi pushover), come metodo autonomo di verifica sismica o come ausilio per l'analisi lineare per investigare la possibile presenza di meccanismi di collasso fragile e di stimare le risorse di duttilità della struttura.

Nella costruzione del modello trovano applicazione le informazioni ottenute nel rilievo dello stato di fatto o dai documenti progettuali dell'epoca di realizzazione dell'edificio, quali il dimensionamento geometrico degli elementi, la definizione dei materiali, la direzione di disposizione dei solai etc. Verranno inoltre definiti i carichi di servizio in funzione della destinazione d'uso degli ambienti e l'azione sismica regolamentare.

## Novità Edisis V11

*La possibilità di adottare anche temporaneamente normative passate consente di ottenere in tempi brevi una soluzione di armatura presunta, in base alle disposizioni e ai materiali dell'epoca di costruzione.*

## Novità Edisis V11

*E' possibile creare tipologie di elementi, che condividono materiali e specifiche di progetto (rapporti  $A_f/A_c$ , diametri dei tondini, interassi min/max di ferri longitudinali e staffe, valori desiderati, ...) e che facilitano la costruzione dell'armatura negli elementi esistenti.*

## Novità Edisis V11

*Con semplici comandi grafici è possibile configurare l'armatura negli elementi secondo gli esecutivi dell'epoca. E' anche possibile tener conto dei ferri sagomati per l'assorbimento del taglio in condizioni statiche e di tener conto dell'effetto confinamento prodotto dalla staffatura, quando questa sia efficace a questo riguardo.*

## Novità Edisis V11

*A differenza delle versioni precedenti, l'armatura assegnata per gli elementi esistenti viene mantenuta anche quando si apportano al modello variazioni di rilievo (aggiunta di livelli per sopraelevazioni, aggiunta di montanti o di campate per la predisposizione di nuovi elementi, eliminazione di elementi o parti di struttura, ecc.).*

### Definizione dell'azione sismica

La definizione dell'azione sismica si ottiene dalle tabelle di pericolosità sismica pubblicate in calce alle Ntc08 e recepite dalle Ntc18, in funzione della vita nominale, delle coordinate geografiche del sito, della classe d'uso e delle categorie del suolo, stratigrafica e topografica, da accertare mediante apposito studio geologico. Vengono valutati i periodi di ritorno dell'azione sismica per i quattro stati limite sismici (Slo, Sld, Slv e Slc) e i relativi spettri di risposta che forniscono le accelerazioni spettrali in funzione dei periodi di vibrazione. In base alla classe d'uso, la norma dispone quali siano gli stati limite da considerare nelle verifiche. In genere per la vita nominale si assume il valore di 50 anni previsto per le costruzioni ordinarie, ma il Committente può anche richiedere valori più alti per conseguire una maggiore protezione.

In alcuni casi gli spettri di risposta possono essere ottenuti dall'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL), richiesta generalmente per opere importanti, che fornisce uno studio di dettaglio delle caratteristiche dinamiche del terreno nel sito di costruzione e degli effetti amplificativi sul moto sismico di base.

## Il fattore di comportamento

Un importante valore da definire nei parametri sismici è il fattore di comportamento o di struttura  $q$  che interviene nello spettro Siv dell'analisi lineare come fattore riduttivo delle accelerazioni, per tener conto del comportamento dissipativo dell'edificio sotto azione sismica. La norma indica una espressione empirica per il fattore  $q$ , in cui compare il rapporto di sovrarresistenza  $\alpha_u/\alpha_1$ , insieme ad altri fattori [Ntc18 §7.3.1]. Il rapporto di sovrarresistenza  $\alpha_u/\alpha_1$  può essere impostato secondo le indicazioni empirico euristiche riportate nella norma oppure valutato con una analisi statica non lineare.

Tuttavia, nell'analisi di edifici esistenti assoggettati ad analisi lineare la norma è abbastanza restrittiva sui valori  $q$  adottabili, indicando il valore  $q=1.5$  e ammettendo possibili incrementi fino al valore 3, purché adeguatamente giustificati, in quanto si presuppone che per questi edifici ci siano forti incertezze sulle risorse di duttilità effettivamente disponibili e non si possano escludere collassi di tipo fragile, al contrario di quanto avviene negli edifici di nuova progettazione in cui tali finalità sono perseguite mediante l'applicazione della gerarchia di resistenza.

### Novità Edisis V11

*Nel caso si utilizzi l'analisi lineare con fattore  $q$  per l'accertamento della sicurezza sismica è possibile adesso differenziare i fattori di comportamento per la verifica dei meccanismi duttili e fragili.*

## Gerarchia delle resistenze

La normativa attuale, per evitare l'eventualità di collassi di tipo fragile e favorire l'attivazione di meccanismi deformativi duttili, dispone alcune regole progettuali note come criteri di gerarchia delle resistenze [Ntc18 §7.4.4.1 (travi), §7.4.4.2 (pilastri), §7.4.4.3 (nodi), §7.4.4.5 (pareti)], che hanno l'effetto di aumentare la resistenza dei possibili meccanismi fragili e di minimizzare la probabilità che essi si attivino prima dei meccanismi duttili. Il rispetto della gerarchia delle resistenze può risultare molto oneroso in termini di dimensionamento e di armature, specie se non si predispongono all'atto del dimensionamento opportuni accorgimenti per renderla meno invasiva, come ad esempio un adeguato dimensionamento dei pilastri o la disposizione di travi alte preferibilmente nella direzione di maggiore resistenza del pilastro. Per strutture esistenti il rispetto della gerarchia delle resistenze non è richiesto, d'altra parte sarebbe tecnicamente irrealizzabile su strutture progettate senza questo requisito, a meno di intervenire pesantemente con ringrossi di sezione e ricostituzione delle armature richieste.

## Controllo del modello

Prima di procedere con le verifiche è opportuno, tramite gli strumenti messi a disposizione dal software, eseguire un accurato controllo dei risultati di modellazione, nonché dell'analisi statica e dinamica, con il riscontro dell'ordine di grandezza delle sollecitazioni, il rispetto delle eventuali simmetrie attese, l'esame di massima dei modi di vibrare, al fine di escludere banali errori di modellazione.

## Valutazione della sicurezza

Al §8.2 la Ntc18 è riportato esplicitamente che, se non diversamente specificato, le disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della norma costituiscono il riferimento anche per le costruzioni esistenti.

Al §8.3 si afferma che *“la valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto”*. Si dispone, inoltre, che la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al §7.3.6 (v.rigidità per Slo, v.resistenza per SId), eventualmente con livelli prestazionali ridotti; le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

A livello operativo, allo stesso punto la norma richiede che *“nella valutazione della sicurezza, da effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali di miglioramento o adeguamento di cui al §8.4, il progettista dovrà esplicitare in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto fra capacità e domanda, i livelli di sicurezza precedenti all'intervento e quelli raggiunti con esso”*.

### Novità Edisis V11

*Il programma consente un controllo puntuale del miglioramento o dell'adeguamento sismico perché permette la lettura dei risultati dell'analisi allo stato di fatto e riporta in una apposita tabella il confronto dei fattori di sicurezza fra lo stato di fatto e lo stato rinforzato.*

## Elementi/meccanismi duttili o fragili

Al §8.7.2 gli elementi ed i meccanismi resistenti sono classificati in:

- duttili: travi, pilastri e pareti inflesse con e senza sforzo normale;
- fragili: meccanismi di taglio in travi, pilastri, pareti e nodi;

In caso di pilastri soggetti a valori di sforzo normale particolarmente elevato va presa in considerazione la possibilità di comportamento fragile.

I meccanismi "duttile" si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione. I meccanismi "fragili" si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza.

Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, determinate secondo le modalità indicate al §8.5.3, divise per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto. Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi fragili, le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza raggiunto.

### Modalità di verifica per meccanismi duttili e fragili

Meccanismo	Verifica in termini di:	Fattori parziali
Duttile	deformazione	Fattori di confidenza
Fragile	resistenza	Fattori di confidenza + Coefficienti parziali del materiale

## Classificazione degli interventi

Al §8.4 sono individuati le seguenti categorie di intervento:

- interventi di **adeguamento** atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, fino a raggiungere i livelli indicati dalla normativa al §8.4.3;
- interventi di **miglioramento** atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli indicati dalla normativa al §8.4.3;
- **riparazioni** o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Gli interventi di **adeguamento** e **miglioramento** devono essere sottoposti a collaudo statico.

I livelli di sicurezza indicati dalle norme Ntc08 e Ntc18 sono riassunti nella seguente tabella, in cui sono riportati i fattori di sicurezza da raggiungere per i vari tipi di intervento, al variare della classe d'uso e della normativa di riferimento, essendo:

- $\zeta_E$  fattore di sicurezza sismico, dato dal rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica di progetto;
- $\zeta_{E(E)}$  fattore di sicurezza sismico nello stato ante-operam: esprime il moltiplicatore del sisma di progetto compatibile con il soddisfacimento delle verifiche agli stati limite sismici;
- $\zeta_{E(R)}$  fattore di sicurezza sismico nello stato post-operam: esprime il moltiplicatore del sisma di progetto compatibile con il soddisfacimento delle verifiche agli stati limite sismici;

### Condizioni di verifica del miglioramento e dell'adeguamento in strutture esistenti secondo Ntc18

Definizione	Condizioni da raggiungere
<b>Intervento di adeguamento §8.4.3</b> se riguarda casi di: a) sopraelevazione, b) ampliamento strutturale, c) var.classe o d.uso con incremento carichi >10%, d) interventi strutturali sistematici, e) modifiche di classe d'uso per c.u.III scolastiche o IV.	$\zeta_{E(E)} \geq 1.0$ per i casi a, b, d $\zeta_{E(E)} \geq 0.8$ per i casi c, e
<b>Intervento di miglioramento §8.4.2</b> se non incluso nei casi precedenti	$\zeta_{E(R)} - \zeta_{E(E)} \geq 0.1$ in tutti i casi, eccetto i seguenti $\zeta_{E(R)} \geq 0.6$ per c.uso III scolastica e IV
<b>Intervento locale o di riparazione §8.4.1</b> se limitato a singole parti o elementi della struttura	$\zeta_{E(E)} \leq \zeta_{E(R)}$ limitatamente agli elementi coinvolti

## Novità Edisis V11

Nel programma è prevista una tabella specifica per il controllo del raggiungimento dell'adeguamento o del miglioramento sismico, nella quale si recepiscono i valori dello stato preesistente e si controllano le condizioni riguardanti l'incremento del fattore di sicurezza sismico e il valore finale raggiunto.

Verifica	Ze(E)	Ze(R)	PgaC(E)	PgaC(R)	PgaD	Miglioramento	Adeguamento
Slc	---	---	---	---	0,184		
Slv	0,506	0,637	0,072	0,091	0,143	si	no
Sld	4,484	4,484	0,269	0,269	0,060	si	si
Slo	---	---	---	---	0,046		

### Metodi di analisi e criteri di verifica

Al §C8.7.2.2 delle Ntc18 si dispone che gli effetti dell'azione sismica negli edifici esistenti possono essere valutati con uno dei metodi elencati al §7.3, ovvero:

- Analisi statica lineare con spettro elastico o con fattore q,
- Analisi dinamica modale con spettro elastico o con fattore q,
- Analisi statica non lineare,
- Analisi dinamica non lineare,

con alcune precisazioni (riportate nelle seguenti note) riguardanti le condizioni di applicabilità e i criteri di verifica per gli elementi o i meccanismi duttili e fragili

#### Condizioni di applicabilità dell'analisi statica lineare con spettro elastico o con fattore q

Innanzitutto devono essere rispettate le condizioni del §7.3.3.2, ovvero che la costruzione sia regolare in altezza e che il periodo proprio non superi  $2.5 T_C$  o  $T_D$ . Poi bisogna effettuare controlli riguardanti i rapporti  $\rho_i = D_i / C_i$ , essendo  $D_i$  il momento ottenuto dall'analisi (domanda) per la combinazione sismica e  $C_i$  il corrispondente momento resistente (capacità). Si noti che queste condizioni non si estendono al caso di analisi lineare dinamica modale con fattore q.

#### Condizioni di applicabilità dell'analisi dinamica modale con fattore q

Questo è probabilmente uno dei metodi utilizzati più di frequente. Al medesimo §C8.7.2.2 la norma stabilisce che il fattore q debba essere assunto nel range  $1.5 \leq q \leq 3.0$ , sulla base della regolarità della costruzione in esame, nonché delle sollecitazioni delle membrature dovute ai carichi verticali, con possibili deroghe per casi di buona e documentata duttilità locale e globale e per sistemi strutturali di nuova costruzione a cui affidare la resistenza alle azioni orizzontali.

Per quanto riguarda i criteri di verifica, al §C8.7.2.2 delle Ntc18 e al § 2.2.1 (4)P Ec8/Parte 3 si dispone che nel caso di analisi modale con fattore q le verifiche vengano eseguite in termini di resistenza sia per meccanismi duttili, sia per meccanismi fragili. Per quest'ultimi la norma richiede di valutare la domanda con un fattore di comportamento ridotto, pari a  $q = 1.5$ , eventualmente limitata dalla capacità degli elementi duttili che trasmettono la sollecitazione al meccanismo fragile, sulla base di resistenze medie moltiplicate per i fattori di confidenza (§C8.7.2.2 punto b).

## Novità Edisis V11

Per le verifiche dei meccanismi duttili e dei meccanismi fragili è possibile differenziare il fattore di comportamento e i coefficienti parziali da utilizzare nelle verifiche.

Fattori di comportamento per meccanismi duttili e fragili		Preferenze su fattori gamma per c.a. esistente in s.l. ultimi	
Fattori: differenti	M.duttili: 3,90	M.fragili: 1,50	Meccanismi duttili: valori unitari (minore sicurezza)
			Meccanismi fragili: valori predefiniti (maggiore sicurezza)

#### Condizioni di applicabilità dell'analisi statica non lineare

Probabilmente è il metodo che consente di sfruttare meglio le risorse di resistenza e di duttilità della struttura e, per tale ragione, predispone ad una stima più favorevole dei fattori di sicurezza e ad interventi di rinforzo meno invasivi. Per la sua applicabilità la norma richiede però un livello di conoscenza LC2 o superiore e il rispetto delle modalità indicate al §7.3.4.1, riguardanti le distribuzioni delle forze d'inerzia e le partecipazioni di massa. L'analisi pushover in Edisis è sensibile ai meccanismi fragili (crisi di taglio in travi, pilastri e nodi) e ai meccanismi di piano (crisi a pressoflessione quasi contemporanea dei pilastri di un piano).

Con queste precisazioni, è possibile sintetizzare nelle seguenti tabelle le disposizioni di normativa riguardanti:

- l'analisi lineare con fattore q,
- l'analisi non lineare.

**LA VERSIONE COMPLETA E' DISPONIBILE AL SEGUENTE LINK**

**<https://www.newsoft-eng.it/Download/GetFile?file=R5JQX019ME>**

**E' NECESSARIO REGISTRARSI AL SITO**

## **Sommario**

Note per l'analisi di edifici esistenti in c.a. con Edisis v.11 .....	1
Rilievo dello stato di fatto.....	1
Fattore di confidenza .....	1
Definizione del modello e dei materiali.....	2
Definizione dell'azione sismica .....	2
Il fattore di comportamento .....	3
Gerarchia delle resistenze .....	3
Controllo del modello.....	3
Valutazione della sicurezza.....	3
Elementi/meccanismi duttili o fragili.....	4
Classificazione degli interventi.....	4
Metodi di analisi e criteri di verifica.....	5
Fasi operative per l'analisi di un edificio esistente in c.a. ....	6
Costruzione del modello di calcolo.....	7
Caratterizzazione del ferro e del calcestruzzo.....	7
Valutazione dell'efficacia del confinamento .....	7
Ricostruzione delle armature esistenti .....	8
Calcolo presuntivo delle armature .....	8
Fasi operative per l'analisi lineare con fattore q.....	11
Impostazione delle opzioni di verifica .....	11
Impostazione del fattore q .....	12
Disattivazione della gerarchia delle resistenze .....	12
Quadro sintetico delle verifiche.....	13
Fasi operative per l'analisi statica non lineare (analisi pushover) .....	14
Esecuzione dell'analisi pushover .....	14
Interpretazione dei risultati .....	15
Fattore di sicurezza sismica per lo stato di fatto .....	17
Classe di rischio sismico per Sismabonus.....	18
Controllo miglioramento adeguamento sismico .....	19

[Rev. giovedì 18 febbraio 2021]