

Duttilità delle sezioni in cemento armato secondo le NTC 2018 con IperSpace

Una delle principali novità delle NTC 2018 riguarda le verifiche di duttilità delle sezioni in cemento armato. L'attenzione di questo focus è sulla determinazione della **curvatura** e quindi la **duttilità** della sezione al variare delle armature tese e compresse, sia per elementi inflessi quali travi e sia per elementi presso inflessi quali i pilastri; si pone come condizione necessaria quella di rispettare i limiti di normativa dei dettagli costruttivi quali geometrie e limiti massimi e minimi per le armature longitudinali e trasversali.

Nel **Capitolo 7**, al **Par. 7.3.6** denominato *Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite*, si fa riferimento alle verifiche da effettuare su elementi strutturali, non strutturali ed impianti ed in particolare alla **Tab. 7.3.III** si riporta, in casi specifici esplicitati dalle NTC 2018, l'obbligatorietà della verifica di duttilità.

Tale controllo si rende obbligatorio per le parti strutturali:

- nel caso di analisi lineare, coerente con il fattore di comportamento q adottato e i relativi spostamenti, quali definiti in 7.3.3.3;
- nel caso di analisi non lineare, sufficiente a soddisfare la domanda in duttilità evidenziata dall'analisi.

Per strutture a comportamento dissipativo, qualora non siano rispettate le regole specifiche dei dettagli costruttivi, come previsto dalla Norma, occorrerà procedere a verifiche di duttilità.

Per le sezioni allo spiccato dalle fondazioni o dalla struttura scatolare rigida di base di cui al § 7.2.1 degli elementi strutturali verticali primari la verifica di duttilità, indipendentemente dai particolari costruttivi adottati, è necessaria (salvo casi diversi esplicitati dalle NTC 2018) accertando che la capacità in duttilità della costruzione sia almeno pari:

- a 1,2 volte la domanda in duttilità locale, valutata in corrispondenza dello **SLV**, nel caso si utilizzino modelli lineari,
- alla domanda in duttilità locale e globale allo **SLC**, nel caso si utilizzino modelli non lineari.

Le verifiche di duttilità non sono dovute nel caso di progettazione con $q \leq 1,5$.

Nel caso in esame, si ipotizza una struttura con un fattore di comportamento $q > 1,5$.

Si procede con l'analisi della duttilità. Come previsto dalle NTC 2018, la verifica consiste confrontando la capacità (espressa in termini di duttilità) e la domanda.

Valutazione della capacità

La capacità in termini di duttilità, si valuta secondo quanto previsto dal **Capitolo 4, Par. 4.1.2.3.4.2** secondo le relazioni:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad [4.1.18a]$$

$$\mu_{\Phi} = \mu_{\Phi}(N_{Ed}) \geq \mu_{Ed} \quad [4.1.18b]$$

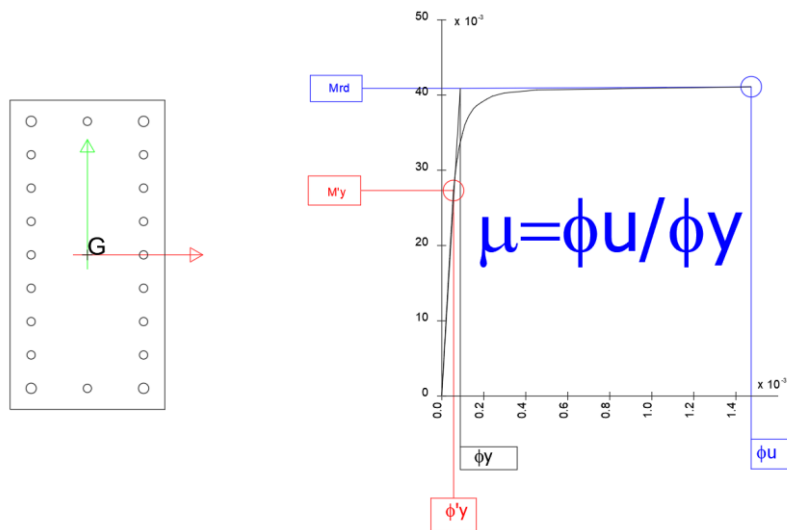
- M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;
- N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;
- M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda;
- μ_{Φ} è il valore di progetto della duttilità di curvatura corrispondente a N_{Ed} ;
- μ_{Ed} è la domanda in termini di duttilità di curvatura.

La capacità in termini di fattore di duttilità in curvatura μ_ϕ può essere calcolata, separatamente per le due direzioni principali di verifica, come rapporto tra la curvatura cui corrisponde una riduzione del 15% della massima resistenza a flessione – oppure il raggiungimento della deformazione ultima del calcestruzzo e/o dell'acciaio – e la curvatura convenzionale di prima plasticizzazione Φ_{yd} espressa dalla relazione seguente:

$$\Phi_{yd} = \frac{M_{Rd}}{M'_{yd}} \cdot \Phi'_{yd}$$

dove:

- Φ'_{yd} è la minore tra la curvatura calcolata in corrispondenza dello snervamento dell'armatura tesa e la curvatura calcolata in corrispondenza della deformazione di picco (ϵ_{c2} se si usa il modello parabola-rettangolo oppure ϵ_{c3} se si usa il modello triangolo-rettangolo) del calcestruzzo compresso;
- M_{Rd} è il momento resistente della sezione allo SLU;
- M'_{yd} è il momento corrispondente a Φ'_{yd} e può essere assunto come momento resistente massimo della sezione in campo sostanzialmente elastico.



Valutazione della domanda

La domanda in duttilità di curvatura allo SLC nelle zone dissipative, espressa mediante il fattore di duttilità in curvatura μ_ϕ , qualora non si proceda ad una determinazione diretta mediante analisi non lineare, può essere valutata in via approssimata come:

$$\mu_\phi = \begin{cases} 1,2 \cdot (2q_0 - 1) & \text{Per } T_1 \geq T_C \\ 1,2 \cdot \left(1 + 2(q_0 - 1) \frac{T_C}{T_1}\right) & \text{Per } T_1 < T_C \end{cases} \quad [7.4.3]$$

dove T_1 è il periodo proprio fondamentale della struttura.

La capacità in duttilità di curvatura può essere calcolata come indicato al § 4.1.2.3.4.2.

Verifica di duttilità

Per le zone dissipative allo spiccato dei pilastri primari e per le zone terminali di tutti i pilastri secondari devono essere eseguite le verifiche di duttilità indicate al § 7.4.4.2.2. In alternativa, tali verifiche possono ritenersi soddisfatte se, per ciascuna zona dissipativa, si rispettano le limitazioni seguenti:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30\mu_{\Phi} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

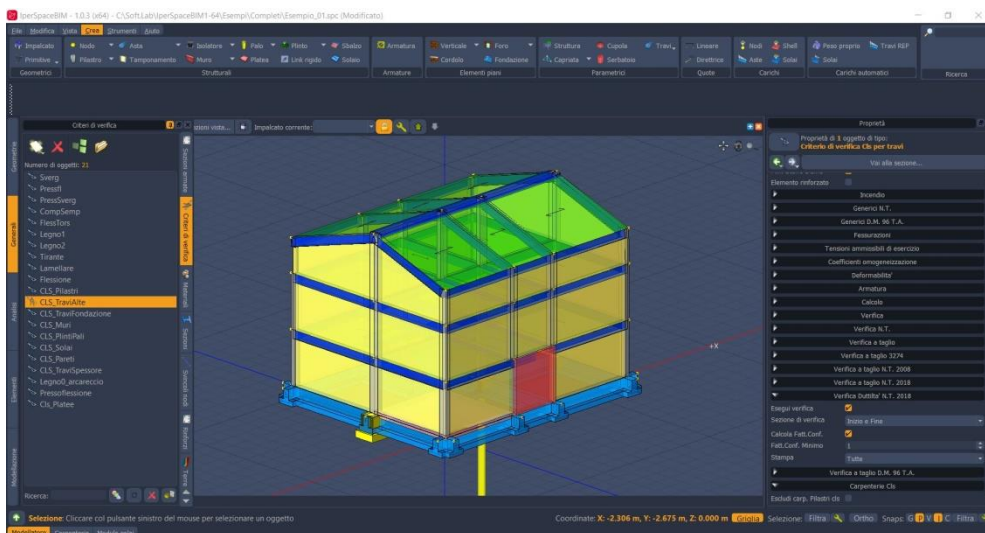
$$\omega_{wd} = \frac{\text{volume delle staffe di confinamento}}{\text{volume del nucleo di calcestruzzo}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

dove:

- ω_{wd} è il rapporto meccanico dell'armatura trasversale di confinamento all'interno della zona dissipativa (il nucleo di calcestruzzo è individuato con riferimento alla linea media delle staffe) che deve essere non minore di 0,12 in CDⁿAⁿ.
- μ_{Φ} è la domanda in duttilità di curvatura allo SLC;
- v_d è la forza assiale adimensionalizzata di progetto relativa alla combinazione sismica SLV ($v_d = N_{Ed}/A_c \cdot f_{cd}$);
- $\varepsilon_{sy,d}$ è la deformazione di snervamento dell'acciaio;
- h_c è la profondità della sezione trasversale lorda;
- h_0 è la profondità del nucleo confinato (con riferimento alla linea media delle staffe);
- b_c è la larghezza minima della sezione trasversale lorda;
- b_0 è la larghezza del nucleo confinato corrispondente a bc (con riferimento alla linea media delle staffe);
- α è il coefficiente di efficacia del confinamento, uguale a $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$, con variazione a seconda della tipologia di sezione.

Verifica di duttilità con IperSpace

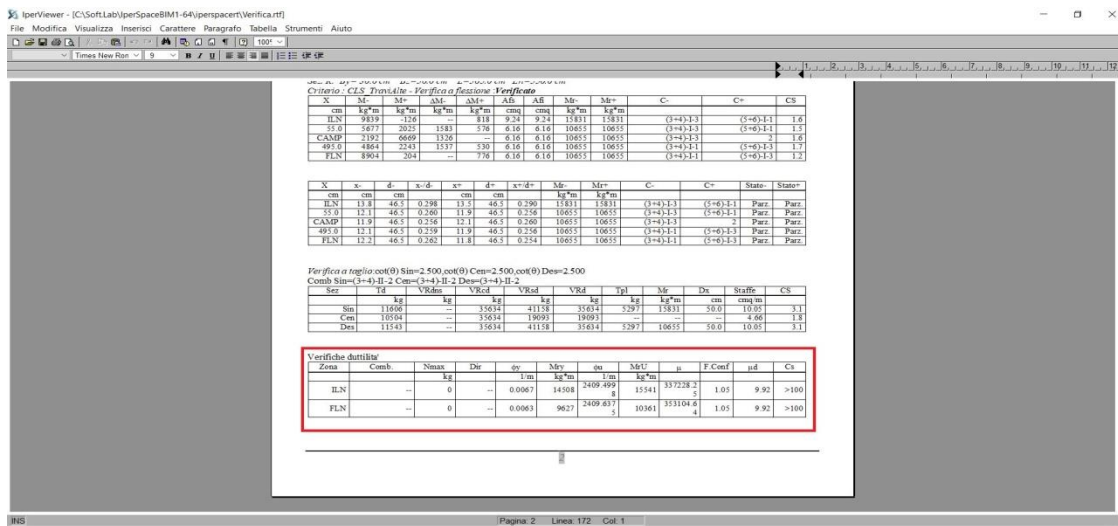
Con IperSpace è possibile effettuare le verifiche di duttilità in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 note come NTC 2018. Si prenda l'Esempio 1 come riferimento per l'analisi da condurre con la nuova Norma. Si vuole effettuare la verifica di duttilità sulle travi. Definiti i *Criteri di verifica*, scorrendo nel menù *Proprietà*, posto a destra dello screen che segue, individuare la voce *Verifica Duttilità N.T. 2018*. In questo pannello è possibile definire le proprietà del criterio andando a scegliere se eseguire la verifica, la sezione di verifica a seconda delle esigenze dell'utente, il calcolo del fattore di confinamento che interessa la tipologia di sezione e le staffe e in ultimo la stampa.



Definite le impostazioni, si lancia l'analisi per il calcolo dello scenario creato e si esegue la numerazione degli elementi. Nel menù in basso a sinistra, cliccando in *Carpenterie* si procede nel disporre le armature e, prendendo ad esempio nel menù *Navigazione* la *Travata_101* si visualizza la *Verifica SLU*.



Il file .rtf di IperViewer generato consente di visualizzare le verifiche allo Stato Limite Ultimo della sezione considerata; come si nota dal riquadro in rosso, vengono riportate le *Verifiche di duttilità*.



Nella stampa sono indicati:

- la *Zona di verifica*: per le aste (travi e pilastri) è possibile scegliere tra inizio e/o fine o entrambe, per le pareti la verifica è condotta solo alla base;
- *Comb.*: la combinazione cui corrisponde il valore dello sforzo normale (N_{max}), per le travi in genere non è presente in quanto $N=0$;
- *Dir.*: per i pilastri indica la direzione (Y oppure Z);
- ϕ_y : curvatura allo snervamento (nelle NTC è indicata con ϕ'_{yd});
- M_{ry} : Momento di snervamento (M'_{yd} nelle NTC);
- μ : curvatura corrispondente a M_{rU} ($M_{rU} = M_{Rd}$ nelle NTC);
- M_{rU} : momento ultimo della sezione per il dato valore di N.

È da notare che il valore di M_{RU} può differire dal valore del Momento resistente nella verifica in quanto questo è calcolato considerando:

1. la sezione risulta composta da due tipologie di calcestruzzo: il **nucleo confinato** con proprietà modificate secondo le formule 4.1.8,4.1.9,4.1.10,4.1.11,4.1.12 del **Par. 4.1.2.1.2.1**, ed il **calcestruzzo esterno non confinato** che è molto meno duttile di quello del nucleo e in corrispondenza della deformazione ultima del calcestruzzo confinato esso non è più efficace (vista la sua minima influenza tale è ignorato). Ad esempio una sezione 30 x 50 con copriferro di 2 cm e staffa $\varnothing 8$ è ridotta ad una sezione con $B=(30-2*(2+0.4))=25.2$ cm ed $H=(50-2*(2+0.4))=45.2$ di solo calcestruzzo confinato
2. un fattore di confinamento in funzione della armatura longitudinale e staffe.

Il fattore di confinamento è definito come:

$$F_c = \frac{f_{ck,c}}{f_{ck}}$$

e risulta essere definito da:

$$F_c = \begin{cases} 1 + 5 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} & \text{per } \sigma_2 \leq 0.05f_{ck} \\ 1.125 + 2.5 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} & \text{per } \sigma_2 > 0.05f_{ck} \end{cases}$$

come da eq. 4.1.8 e 4.1.9