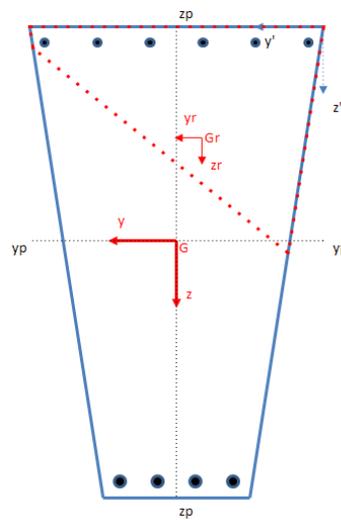


SezioniCA.Az

Software per il calcolo delle sezioni in cemento armato normale e precompresso

Rinforzi di fibre nel calcestruzzo (FRC) - Rinforzi di strutture esistenti con compositi a matrice polimerica (FRP) - Incamiciature in c.a. - Incamiciature in acciaio e metodo CAM

(versione 9.0)



Manuale d'uso

Autore

Ing. *Ciro Azzara*

Via E. Majorana, 8 – 90035 Marineo (PA)

Cell. 348 1514947

e-mail: ing.azzara@libero.it azzara.ciro@gmail.com

SezioniCA.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 2 di 58
--	----------------------	--------------

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	AVVIO DEL SOFTWARE.....	5
3	INPUT.....	8
4	DATI GENERALI	8
4.1	Dati generali	8
4.1.1	Normativa di riferimento.....	8
4.1.2	Calcolo di progetto o di verifica.....	9
4.1.3	Rinforzi costruzioni esistenti.....	10
4.1.4	Forma della sezione e tipo di asta	13
4.1.5	Unità di misura.....	13
4.1.6	Altre verifiche.....	14
4.2	Confinamento calcestruzzo	14
5	GEOMETRIA.....	14
5.1	Sezione e armature	14
5.1.1	Sezioni predefinite	15
5.1.2	Sezione Generica	16
5.2	Rinforzi a flessione e/o taglio con FRP	18
5.3	Confinamento con compositi FRP	18
5.4	Confinamento e rinforzo a taglio con camicie di acciaio o metodo CAM.....	19
6	MATERIALI	19
6.1	Calcestruzzo e acciaio.....	19
6.2	Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC)	20
6.3	Compositi fibrorinforzati FRP	20
6.4	Acciaio per camicie di acciaio o CAM	22
7	SOLLECITAZIONI.....	23
7.1	Sollecitazioni per verifiche di resistenza allo S.L.U.	23
7.2	Sollecitazioni per verifiche agli S.L.E.	24
8	STABILITA' ASTA	24
9	ALTRI DATI.....	25
9.1	Comportamento struttura.....	25
9.2	Progetto armature longitudinali a flessione.....	26
9.3	Armatura trasversale a Taglio	27
9.4	Armatura a Torsione	27
9.5	Diagramma momenti-curvature	27

SezioniCA.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 3 di 58
--	----------------------	--------------

9.6	Sezione in c.a.p.	28
10	VERIF. S.L.E.	28
11	CALCOLO	28
12	OUTPUT – MENÙ VISUALIZZA	29
12.1	Dati sul materiale e sulla sezione	29
12.2	Calcolo alle tensioni ammissibili	29
12.3	Calcolo agli SLU	30
12.4	Disegno della sezione	32
13	LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE	33
	APPENDICE 1 - Novità versioni del software	34
	APPENDICE 2 - Esempi svolti	35
	N. 1 – Verifica sezione rettangolare a flessione retta metodo tens. ammissibili.....	35
	N° 2 – Verifica sezione a T a flessione retta metodo tens. ammissibili.....	36
	N° 3 – Verifica sezione scatolare (pluriconnessa) a presso-flessione deviata metodo tens. ammissibili	37
	N° 4 – Calcolo momento ultimo allo SLU sezione rettangolare	39
	N° 5 - Progetto allo S.L.U. sezione rettangolare soggetta a flessione retta	40
	N° 6 - Calcolo momento ultimo sezione rettangolare	41
	N° 7 – Duttilità' sezione e calcestruzzo confinato	42
	N° 8 – Duttilità' sezione e calcestruzzo confinato	44
	N° 9 – Verifica allo S.L.U. sezione a T soggetta a presso-flessione deviata	46
	N° 10 – Verifica allo S.L.E. di deformazione.....	48
	N° 11 - Verifica allo S.L.U. sezione fibrorinforzata (FRC)	49
	N° 12 - Verifica allo S.L.U. sezione rinforzata a flessione con composito a matrice polimerica FRP	51
	N° 13 - Verifica allo S.L.U. sezione rinforzata a taglio con composito a matrice polimerica FRP	52
	N° 14 - Verifica allo S.L.U. pilastro rinforzato con confinamento di FRP.....	53
	N° 15 - Verifica allo S.L.U. sezione rinforzata con camicia in acciaio	54
	N° 16 - Verifica allo S.L.U. sezione rinforzata con camicia in c.a.....	56
	BIGLIOGRAFIA	58

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 4 di 58
---	----------------------	--------------

1 INTRODUZIONE

Il presente applicativo, sviluppato in ambiente Microsoft Excel^{®1}, effettua il calcolo di progetto delle armature e di verifica delle sezioni in **conglomerato cementizio armato normale** (C.A.) e **precompresso** (C.A.P.). Il conglomerato può essere munito di rinforzo con fibre (FRC - *Fiber Reinforced Concrete*²).

Il software consente di calcolare i **rinforzi** sulle **strutture esistenti** (travi, pilastri, pareti, nodi) attuati con:

- incamiciatura in c.a.
- incamiciatura in acciaio
- metodo CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti)
- compositi a matrice polimerica (FRP - *Fiber Reinforced Polimers*).

I calcoli di progetto e di verifica possono essere effettuati sia con il **Metodo delle Tensioni Ammissibili**, di cui al D.M. 11/02/1992, che con il **Metodo agli Stati Limite Ultimi** di cui al D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche sulle Costruzioni) e al recente D.M. 17/01/2018 (aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, nel seguito **NTC** o **NTC 2018**).

La forma geometrica della sezione può essere di qualunque tipo:

- ✓ Rettangolare
- ✓ Circolare piena o cava
- ✓ a T
- ✓ a T rovescia
- ✓ a doppio T
- ✓ Scatolare
- ✓ Generica

¹ Per l'utilizzo di *SezioniCA.Az* è necessario che l'utente disponga del software Microsoft Excel[®] con regolare licenza d'uso.

² Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC *Fiber Reinforced Concrete*) è un materiale composito innovativo di uso strutturale caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia (cls o malta). Tali fibre possono essere realizzate in acciaio, in materiale polimerico, in materiale organico quali carbonio o vetro, o in materiali naturali.

Le fibre di rinforzo possono essere previste sia per le strutture in cemento armato ordinario che precompresso. Il FRC può essere messo in opera anche in assenza di armature metalliche.

L'aggiunta di fibre conferisce al cls, dopo la fessurazione dovuta agli sforzi di trazione, una significativa resistenza a trazione (tenacità). Viene quindi migliorata molto la resistenza a trazione del cls, mentre il comportamento a compressione risulta praticamente identico a quello del cls senza fibre.

Lo **stato di sollecitazione** agente sulla sezione può essere **piano** (tipico dei telai piani) - in cui sono presenti sforzo normale, taglio e momento flettente - o **spaziale** (telai spaziali), in cui sono presenti tutte le sei componenti di sollecitazione.

È possibile effettuare le verifiche a presso/tenso-flessione retta e deviata, a taglio e torsione, qualunque sia la forma geometrica della sezione e qualunque sia la disposizione dell'armatura nella sezione.

I diagrammi tensioni – deformazioni del calcestruzzo e dell'acciaio sono quelli previsti dalla normativa di riferimento. È possibile considerare anche le leggi costitutive del **calcestruzzo confinato** da staffe chiuse e legature o da FRP o con camicie in acciaio.

Le verifiche di resistenza sono fatte con **metodi rigorosi ed esatti** e non con formule approssimate e metodi semplificati, che, seppure ammessi dalle normative dei vari paesi, molto spesso conducono a sovradimensionamenti intollerabili nella prassi progettuale. Le teorie ed i metodi rigorosi implementati nel software sono riportati nella **Relazione di calcolo** che accompagnano il software stesso.

Può essere effettuata anche la **verifica a carico di punta** (verifica di stabilità) dell'asta pilastro nel suo complesso e, con le NTC 2018, la **verifica di duttilità** della sezione.

Il software effettua altresì le verifiche agli **Stati Limite di Esercizio (SLE)**:

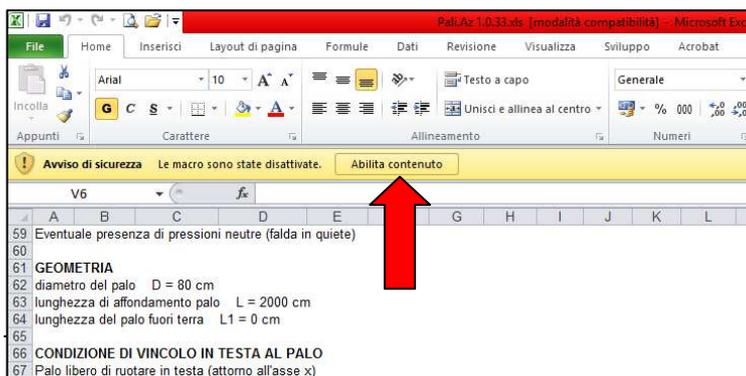
- *Verifica di fessurazione*
- *Verifica alle tensioni di esercizio*
- *Verifica di deformazione*

Come per ogni software tecnico, l'utente di *SezioniCA.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Scienza e Tecnica delle Costruzioni) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software, per non incorrere in errori grossolani che non sempre possono essere individuati e segnalati dal software. È sempre necessario che l'utente verifichi l'attendibilità dei risultati ottenuti.

L'applicativo, abbastanza semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali.

2 AVVIO DEL SOFTWARE

Il file contenente l'applicativo si **installa** come uno comune file e può essere allocato in qualsiasi cartella.



Per il funzionamento del software occorre che alla sua apertura le **macro** ivi inserite vengano attivate. Se compare l'**Avviso di sicurezza** di cui all'immagine accanto

SezioniCA.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 6 di 58
--	----------------------	--------------

occorre premere sul pulsante “*Abilita contenuto*”.

Se non compare la schermata di presentazione del programma di cui alla Fig. 1 (il che vuol dire che le macro non si sono attivate), occorre impostare il livello di protezione delle macro a “medio” o “basso”.

Per fare ciò occorre:

- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 1997, 2000, 2003: scegliere il menù *Strumenti*, quindi *Macro*, *Protezione* e scegliere il livello di protezione: se si sceglie “media” occorre premere il bottone “attiva macro” quando si aprirà l'applicativo *SezioniCA.Az*;
- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 2007, 2010 o 2013 o successivo: occorre mantenere il file come *Cartella di lavoro di Excel 97-2003* e visualizzare il menù **Sviluppo** con la seguente procedura:
 - con Excel 2007: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Impostazioni generali** e quindi selezionare la casella di controllo **Mostra scheda Sviluppo sulla barra multifunzione**;
 - con Excel 2010/2013 o successivo: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Personalizza barra multifunzione** e spuntare, nell'elenco *Schede principali*, la voce *Sviluppo*.

Successivamente dal menù Sviluppo scegliere **Protezione macro** => **Impostazioni macro** => scegliere **Attiva tutte le macro** o **Disattiva tutte le macro con notifica**, quindi chiudere e riaprire *SezioniCA.Az*. Nella barra dei menù in alto a destra si formerà il menù “*Componenti aggiuntivi*” (Fig. 2) che comprenderà i menù personalizzati di *SezioniCA.Az*.



(Fig. 1 – Schermata di presentazione del programma)

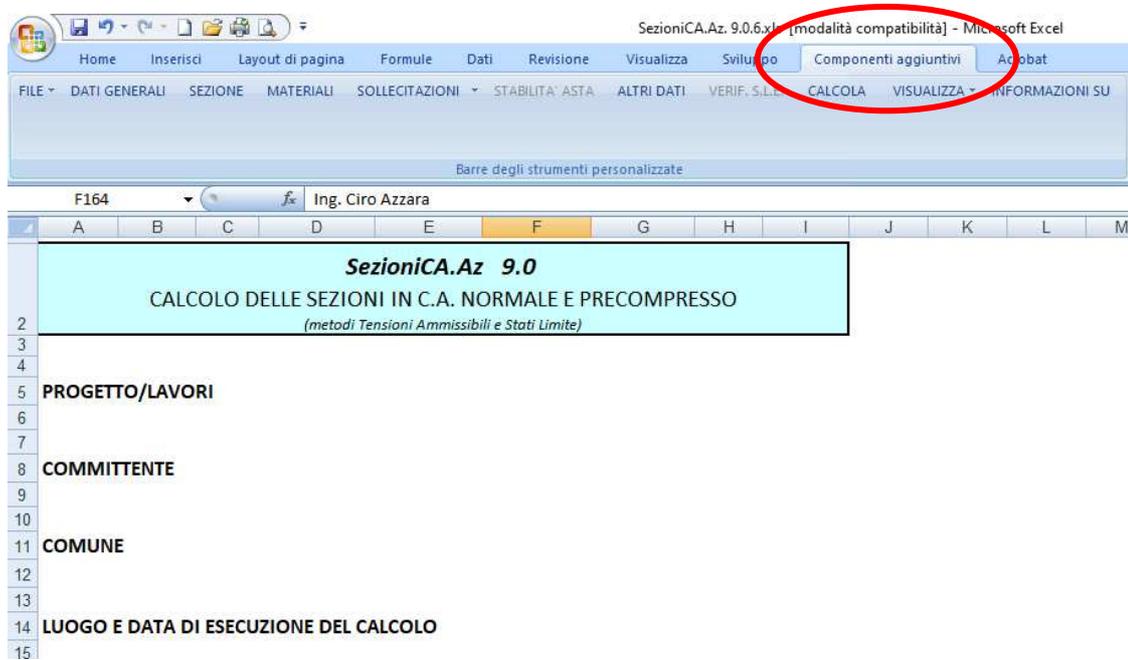
Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall'autore. A tale scopo l'utente deve preventivamente comunicare all'autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù

INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno "-". Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d'uso.

Il software non attivato è comunque funzionante per un certo periodo di tempo e per un determinato numero di volte ma **non può essere utilizzato per scopi professionali** (il tabulato di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

Avviato il software (anche se non attivato) appare la seguente schermata di presentazione in cui è indicato, tra l'altro, il titolare della licenza d'uso.

Chiusa la schermata di presentazione, l'area di lavoro di *SezioniCA.Az* si presenta come segue (notare la barra menù personalizzata, che in Excel 2007/2010/2013 e successivi è sotto il menù **Componenti aggiuntivi**):



(Fig. 2)

Il menù **FILE** contiene i comandi per:

- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;
- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;
- stampare il tabulato di calcolo, i domini di rottura, il diagramma momenti-curvature e il disegno della sezione;
- impostare l'area di stampa;

- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

3 INPUT

Per i dati di input rappresentati da numeri decimali usare il carattere virgola “,”. Durante la fase di inserimento dei dati di input è opportuno effettuare ogni tanto il “salvataggio” degli stessi per mezzo del menù FILE o premendo il relativo pulsante



Nei successivi capitoli vengono esposti i singoli pannelli di input dei dati.

4 DATI GENERALI

4.1 Dati generali

Permette di inserire i dati generali sul calcolo da effettuare.

Il nominativo indicato nel campo “Progettista/Tecnico” viene riportato in calce al tabulato di calcolo.

Sia il C.A. ordinario che quello precompresso possono essere rinforzati con fibre – FRC (con le NTC 2018).

4.1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Scegliendo il D.M. 14/02/1992, il software effettua il calcolo delle sezioni con il metodo delle Tensioni Ammissibili.

Con il D.M. 14/01/2008 e con il D.M. 17/01/2018 (NTC), invece, si procede con le verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU). Si ricorda che quest’ultima metodologia è basata, tra l’altro:

- sull’introduzione dei coefficienti parziali sulle azioni (le azioni vengono amplificate, il che si traduce in un’amplificazione delle sollecitazioni interne alle membrature);

SezioniCA.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 9 di 58
--	----------------------	--------------

- sull'introduzione dei coefficienti parziali sui parametri di resistenza dei materiali calcestruzzo e acciaio (abbattimento delle resistenze);
- sull'utilizzo di leggi costitutive dei materiali più aderenti al reale comportamento degli stessi (leggi non lineari).

4.1.2 CALCOLO DI PROGETTO O DI VERIFICA

Nel **calcolo di verifica** sono note:

- la forma e le dimensioni della sezione;
- le armature (in numero, diametro e posizione);
- le caratteristiche di sollecitazione di progetto agenti sulla sezione;
- i materiali impiegati;

ed occorre calcolare, con il metodo delle tensioni ammissibili, le tensioni massime normali σ_x di compressione nel cls e di compressione o trazione sull'acciaio e la tensione tangenziale massima τ_x sul cls per poterle confrontare con le tensioni ammissibili dei materiali adottati. Con il metodo agli SLU occorre invece determinare le resistenze ultime della sezione (il confronto non avviene tra tensioni ma tra componenti delle caratteristiche di sollecitazione).

Nel **calcolo di progetto** (possibile solo per il cemento armato normale), che in realtà è un semi-progetto in quanto si assumono già note le dimensioni geometriche della sezione, sono note:

- la forma (tra *Rettangolare, a T, a T rovescia, a doppio T, Circolare piena o cava, Scatolare*) e le dimensioni della sezione;
- le caratteristiche di sollecitazione di progetto;
- i materiali impiegati;
- il tipo di asta³ (pilastro o trave o trave di fondazione);

ed occorre calcolare le armature di prefissato diametro (n° di tondini e loro disposizione) nel rispetto dei vincoli previsti dalla normativa (armatura minima e massima, interasse massimo tra le barre, spazio minimo tra due barre consecutive in relazione alla dimensione degli inerti che costituiscono il cls, ecc.).

Il calcolo di progetto, oltre che automaticamente, può anche essere fatto manualmente dall'utente ipotizzando a priori un'armatura ed effettuando il calcolo di verifica. Il progettista potrà variare a piacimento i singoli parametri di progetto (dimensioni sezione, numero di tondini, diametro ecc.) per ottimizzare, anche dal punto di vista economico, il progetto della sezione.

³ Il tipo di asta serve a calcolare le armature nella sezione tenendo conto dei limiti minimi e massimi fissati dalla normativa di riferimento: detti limiti sono diversificati per pilastri, travi e travi di fondazione.

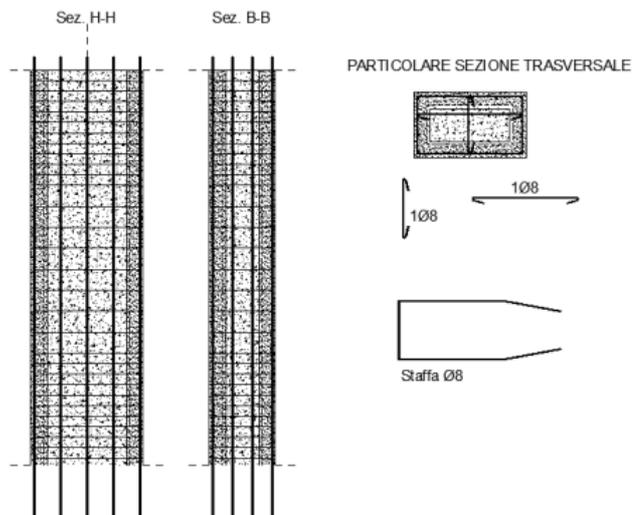
4.1.3 RINFORZI COSTRUZIONI ESISTENTI

Novità delle versione 9 di *SezioniCA.Az* è la possibilità di calcolare le seguenti tipologie di rinforzo sulle strutture esistenti in conformità al capitolo 8 delle NTC 2018 e della relativa Circolare del 2019:

- 1) incamiciature in c.a.
- 2) incamiciature in acciaio
- 3) metodo CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti)
- 4) compositi a matrice polimerica (FRP - *Fiber Reinforced Polimers*).

Si tratta di interventi di rinforzo locali (effettuati cioè sui singoli elementi strutturali quali pilastri, travi, pareti, nodi) che mirano ad aumentare la duttilità e le capacità di resistenza e dissipative degli elementi, evitando meccanismi di rottura fragile. Essi vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare e uniforme su tutta la costruzione esistente su cui si interviene.

Le **incamiciature in c.a.** sono basate sull'aumento delle dimensioni delle sezioni e sull'aggiunta di nuova armatura a flessione e taglio. Semplici da realizzare, anche con manodopera non specializzata, con essa si ottengono aumenti della resistenza a sforzo normale centrato o con piccola eccentricità, a flessione e a taglio dell'elemento. Mantenendo adeguati rapporti tra armature trasversali e longitudinali, è possibile ottenere anche incrementi di duttilità. Da tenere presente che l'intervento ha effetti sul comportamento globale (rigidezza, baricentri e modi di vibrare) della costruzione, contrariamente ai tipi di intervento 2 e 3 che modificano solo marginalmente il comportamento globale della costruzione.



Lo spessore delle camicie deve essere tale da consentire il posizionamento di armatura longitudinale e trasversali aggiuntive e la realizzazione di uno spessore del copriferro adeguato.

La valutazione dell'incremento di resistenza viene effettuata dal software secondo le indicazioni semplificative della Circ. 617/2009 e Circ. 7/2019 (paragr. C8.7.4.2). In particolare, si ammette la piena

aderenza tra cls vecchio e nuovo e, se le differenze tra i due materiali non sono eccessive, le proprietà meccaniche del cls nuovo della camicia si possono considerare estese all'intera sezione.

I valori delle resistenze a taglio e flessione, ottenuti sulla base delle ipotesi semplificativi di cui sopra, dovranno essere ridotti del 10%.

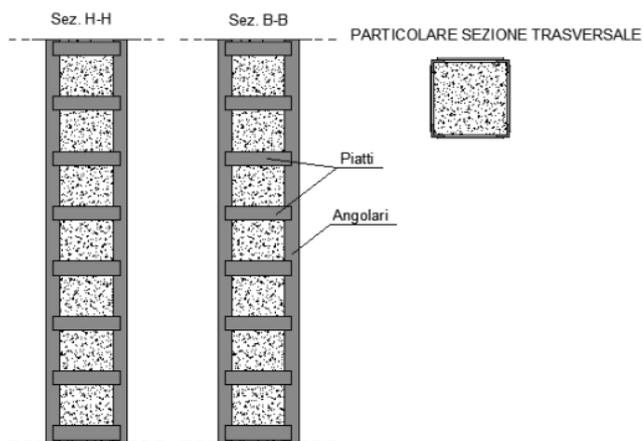
Per l'acciaio esistente si usa la resistenza media ottenuta con prove eseguite in sito e da altre fonti aggiuntive di informazione, divisa per il fattore di confidenza FC (1; 1,2; 1,35) in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto.

L'intervento di rinforzo in oggetto, applicato ai soli pilastri, consente di eliminare il comportamento "travi forti-colonne deboli".

Si realizza solo incremento della resistenza a taglio se le armature longitudinali (disposte come solo reggistaffe) non vengono ancorate agli elementi estremi al pilastro. Estendendo l'allargamento al nodo travi-pilastro, è possibile, mediante l'inserimento di armature trasversali, effettuare anche il rinforzo del nodo, utilizzando le formulazioni valide per le nuove costruzioni. L'armatura inserita sarà tale da realizzare un efficace confinamento.

L'**incamiciatura in acciaio** consiste nel disporre angolari mediante malta strutturale o resina epossidica o tasselli in metallo per poi saldare i calastrelli realizzati con piatti in direzione trasversale agli angolari. L'effetto del confinamento viene incrementato preriscaldando i calastrelli, che raffreddandosi inducono uno stato di pretensione trasversale.

L'intervento, di tipo leggero e di rapida messa in opera senza invasività, è efficace per l'incremento della capacità portante verticale (effetto di confinamento che porta anche a maggiore duttilità) e la resistenza a taglio.



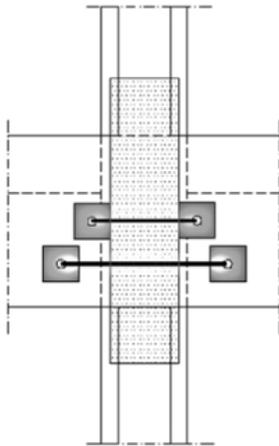
Per quanto riguarda la resistenza a flessione, essa è subordinata al grado di connessione degli angolari con gli elementi esterni. La Circ. 617/2009 non contempla questo tipo di effetto in quanto il dettaglio costruttivo dell'ancoraggio potrebbe essere non realizzato correttamente. Inoltre il contributo come "armatura equivalente" degli angolari non è di facile

modellazione, in quanto i fenomeni di scorrimento relativo con le sezioni in c.a. esistenti dipendono dall'interfaccia resina-calcestruzzo.

Alcuni dei limiti di questo tipo di intervento possono essere superati da un suo diretto discendente, del quale rappresenta un "evoluzione": il **sistema CAM**. Tale metodologia, acronimo di "cucitura attiva dei manufatti", nacque inizialmente per le strutture in muratura, per poi essere esteso alle strutture intelaiate in c.a. alle quali conferisce elevate caratteristiche di duttilità. L'intervento con il sistema CAM viene realizzato posizionando ai vertici della sezione elementi presso-piegati ad "L" (ad ali uguali) in acciaio. I presso-piegati hanno la particolarità di presentare la superficie interna di contatto con il CLS irruvidita, mentre la superficie esterna è estremamente liscia per favorire il pretensionamento uniforme dei nastri posizionati successivamente. I nastri in acciaio ad alta resistenza (f_{yk} pari a circa 850 MPa) sono

pretensionati in modo da indurre uno stato di confinamento all'elemento stesso e possono essere sia a strati singoli o sovrapposti.

Il metodo quindi consente di ottenere anche aumento della resistenza a pressoflessione, facendo contribuire gli angolari nel raggiungimento delle condizioni ultime della sezione (v. 5.1.1). Ciò può essere realizzato prevedendo il collegamento verticale tra angolari corrispondenti tra più livelli saldando tra essi barre di armature B450C.



Il sistema CAM è particolarmente interessante per il consolidamento dei nodi travipilastro, essendo anche la parte più delicata dal punto di vista sia strutturale che di realizzazione. Il metodo consiste nell'inserimento di un piatto metallico (saldato agli angolari disposti come rinforzo su travi e pilastri), oltre che alla presenza di avvolgimenti dei nastri ad alta resistenza.

Con i **compositi a matrice polimerica (FRP)** da Fiber Reinforced Polimers), materiali innovativi, si ottengono aumenti delle resistenze a flessione, taglio e torsione, nonché azione di confinamento con aumento della duttilità dell'elemento. Anche i rinforzi con FRP sono di tipo "selettivo", pertanto è possibile ottimizzare l'intervento in modo da raggiungere l'obiettivo di rendere l'elemento "duatile". I materiali fibrerforzati a matrice polimerica (FRP), applicati con placcaggi e fasciature, mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso. Questo tipo di materiale si trova in commercio secondo varie forme: lamine, barre, tessuti. Per le applicazioni legate al rinforzo di strutture esistenti le forme più comuni sono i tessuti bidirezionali, i quali si adattano facilmente alla superficie sui quali vengono applicati. La famiglia degli FRP è formata dai principali tipi di polimeri: fibre di vetro (GFRP), fibre di carbonio (CFRP) e fibre aramidiche (AFRP).

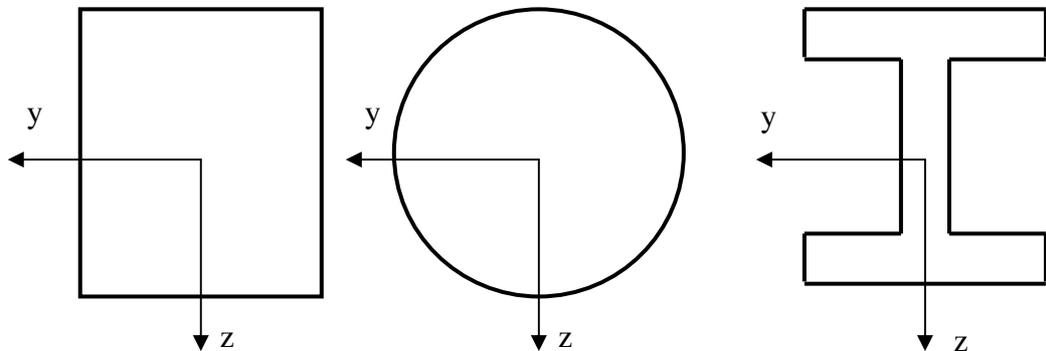
Rispetto ad altri materiali da costruzione più comuni, gli FRP presentano caratteristiche di leggerezza, poco ingombro e impatto estetico, elevate proprietà meccaniche (modulo elastico e resistenza a trazione) e non subiscono la corrosione. Inoltre presentano il vantaggio che la loro applicazione non comporta aumenti di spessore degli elementi strutturali e l'intervento di consolidamento è reversibile. Gli svantaggi, di contro, sono la necessità di una mano d'opera molto specializzata, la protezione contro l'incendio e la possibile alterazione della resina a lungo termine (durabilità).

Per i nodi travipilastro l'intervento con FRP risulta, rispetto ad altre soluzioni, di facile realizzazione in quanto l'applicazione oltre ad essere esterna all'elemento strutturale, si adatta alle diverse forme geometriche del nodo.

4.1.4 FORMA DELLA SEZIONE E TIPO DI ASTA

Come già anticipato, il software consente di gestire qualunque forma di sezione:

- Rettangolare
- Circolare piena o cava
- a T
- a T rovescia
- a doppio T
- Scatolare
- Generica



Le sezioni viste, con esclusione di quella Generica, sono dette anche sezioni predefinite o ad input semplificato e sono simmetriche rispetto all'asse z (le sezioni *Circolare piena o cava*, *a doppio T* e *Scatolare* sono simmetriche anche rispetto all'asse y). Nelle sezioni predefinite i ferri longitudinali possono essere ubicati ai lembi superiore e inferiore della sezione oppure anche nei lembi laterali e ovunque si vuole.

La scelta tra **Pilastro**, **Trave** e **Trave di fondazione** è necessaria, come già detto, per definire le limitazioni di armatura, che la normativa diversifica per le tre tipologie, e per particolari tipi di verifica (quale ad es. quella a carico di punta prevista solo per i pilastri).

Per le sezioni in cemento armato precompresso, caratterizzate spesso da forme complesse, la forma di sezione viene impostata in automatico a "Generica".

Per la sezione generica può essere impostato il parametro del numero delle poligonali (fino a 5) che compongono la sezione (per modellare sezioni cave).

4.1.5 UNITÀ DI MISURA

Per le unità di misura si può adottare sia il Sistema Tecnico che il Sistema Internazionale.

Con il Sistema Tecnico le dimensioni geometriche sono misurate in **cm**, gli sforzi normali e di taglio in **kg**, i momenti in **kg*m**, le tensioni, le resistenze caratteristiche e i moduli elastici in **kg/cm²**, il diametro dei tondini in **mm**.

Con il Sistema Internazionale le dimensioni geometriche sono misurati in **cm**, gli sforzi normali e di taglio in **kN**, i momenti in **kN*m**, le tensioni, le resistenze caratteristiche e i moduli elastici **N/mm²**, il diametro dei tondini in **mm**.

Attenzione: quando si varia il sistema di riferimento (ad esempio da S.T. a S.I.) con i dati di input già inseriti, ricordarsi di cambiare i valori dei vari parametri di input per adeguarli alle nuove unità di misura; ad esempio il valore di Rck del calcestruzzo di 250 (kg/cmq) nel S.T. diventa 25 (N/mm²) nel S.I.

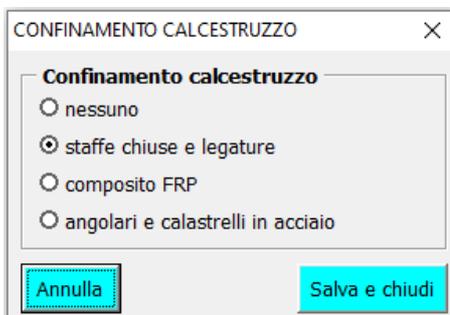
4.1.6 ALTRE VERIFICHE

La **verifica di duttilità** della sezione, prevista per il caso di sollecitazione piana, è possibile con le nuove NTC 2018 (novità). I relativi parametri per la costruzione del diagramma momenti-curvature e il calcolo della duttilità della sezione vengono impostati nel pannello ALTRI DATI. Quando si sceglie di fare la verifica di duttilità, essendo che il diagramma viene determinato per punti con soluzioni iterative, può succedere che il calcolo richiede da qualche decina di secondi fino a qualche minuto quando si fissano parametri molto restrittivi.

La verifica a carico di punta è possibile per i soli pilastri.

Le verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono previste con le NTC 2008 e NTC 2018.

4.2 Confinamento calcestruzzo



Per le sezioni rettangolari o circolari, verificate con le NTC 2018, è possibile tenere conto del confinamento del cls ottenuto con staffe chiuse e legature o con i compositi FRP o con camicie in acciaio. Il confinamento conferisce all'elemento strutturale maggiore duttilità e resistenza a compressione centrata o con piccola eccentricità.

Se in Dati Generali è stato scelto un tipo di rinforzo a flessione/taglio, una o più opzioni del presente pannello possono essere disabilitate a seconda del tipo di rinforzo scelto.

5 GEOMETRIA

5.1 Sezione e armature

Con questo pannello vengono inseriti i parametri geometrici riguardanti la sezione, di forma indicata in Dati Generali, e le armature longitudinali a flessione.

5.1.1 SEZIONI PREDEFINITE

Per le sezioni di forma *Rettangolare, a T, a T rovescia, a doppio T, Circolare piena o cava e Scatolare* è previsto un input semplificato in cui basta indicare le dimensioni caratteristiche della sezione (ad es. per la sezione rettangolare: B ed H) e il numero dei tondini disposti lungo i due lembi superiore ed inferiore

della sezione con relativo diametro. Il copriferro c_f è la distanza tra il lembo della sezione e il perimetro del tondino dell'armatura longitudinale.

Si fa osservare che se sono note le sezione di armatura ai due lembi A_{sup} e A_{inf} , si può effettuare egualmente la verifica calcolando i corrispondenti diametri equivalenti fissati il numero di barre N_{bs} , N_{bi} ai due lembi:

$$d_{sup} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{sup}}{\pi \cdot N_{bs}}} \quad d_{inf} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{inf}}{\pi \cdot N_{bi}}}$$

Qualora nella sezione siano presenti anche tondini nei lembi laterali e/o tondini di diametri differenti si può procedere mediante l'input per **pacchetti di armatura** premendo su **inserisci**:

n°	y'in	z'in	y'fi	z'fi	n° barre	Db	armon	nuovo
1	3,8	3,8	26,2	3,8	3	16		Si
2	26,2	46,2	3,8	46,2	3	16		Si

Un **pacchetto di armatura** è un insieme di tondini, disposti lungo un segmento di retta, aventi lo stesso diametro ed equidistanti tra loro. Per definire un pacchetto di armatura, che può essere costituito anche da un solo tondino (ad es. grosso cavo di precompressione), occorre inserire le coordinate dei baricentri dei tondini di inizio e di fine del pacchetto, il diametro e il numero dei tondini. In questo modo è possibile inserire velocemente armature anche complesse, senza necessità di determinare a priori le coordinate dei baricentri di ogni tondino.

Le coordinate dei tondini di inizio e di fine dei pacchetti sono riferiti ad un **sistema di riferimento utente y'z'** avente l'asse y' orizzontale e direzione da destra verso sinistra, l'asse z' verticale dall'alto verso il basso e con origine in un qualunque punto:



Nel caso di sezione rettangolare (e analoghe) è opportuno fissare il sistema di riferimento utente nel vertice in alto a destra della sezione.

Nel caso di calcolo di sezione in c.a.p. occorre precisare, per ogni pacchetto di armatura, se trattasi di armatura da precompressione (acciaio armonico) o di armatura ordinaria non precompressa.

Il campo "acciaio nuovo" è attivo solo nel caso di sezione rinforzata con camicie in C.A. e serve a distinguere l'acciaio nuovo inserito dentro la camicia e l'acciaio assistente (infatti per normativa si deve considerare la distinzione tra vecchia e nuova armatura).

Qualora nelle sezioni rinforzate con camicie di acciaio (angolari e calastrelli) o con metodo CAM, si voglia mettere in conto l'effetto degli angolari nel calcolo della resistenza a presso-flessione, è possibile inserire dei "pacchetti di armatura equivalenti". Gli angolari si suddividono in un certo numero N di parti (es. N=5 parti) aventi area $A_f = A_{ang}/N$ a cui corrisponde un diametro di tondino equivalente; si individuano le coordinate dei tondini (baricentri delle N aree) e si inseriscono i dati così ottenuti per ogni pacchetto di armatura.

Si vedano gli esempi in appendice per maggiori approfondimenti.

5.1.2 SEZIONE GENERICA

DEFINIZIONE SEZIONE GENERICA IN C.A.

coordinate vertici sezione (poligonale)

poligonale

vert. y' (cm) z' (cm)

y' (cm) z' (cm)

Inserire i vertici della sezione in senso orario. Per le poligonali che racchiudono cavità l'ordine dei vertici è antiorario.

pacchetti di armatura

n°	y'in (cm)	z'in (cm)	y'fi (cm)	z'fi (cm)	n° barre	Db (mm)	armon
1	1.2	7.4	10.8	7.4	5	3.909	Si
2	6	1.3	6	1.3	1	3.909	Si

y'in (cm) z'in (cm)

y'fin (cm) z'fin (cm)

n° barre D (mm)

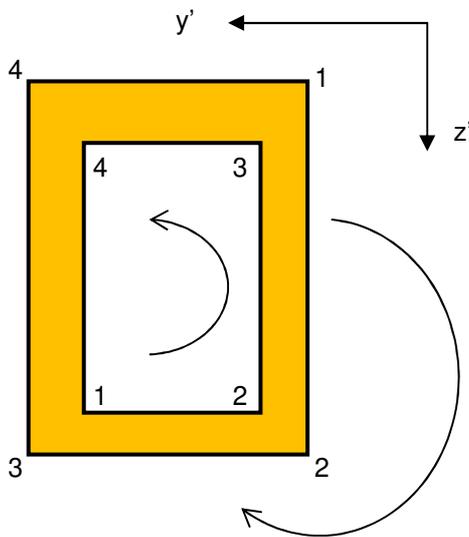
acciaio armonico

Per tutte le altre forme di sezione (non simmetriche, pluriconnesse, in c.a.p, ...) o di armatura variamente disposta è possibile utilizzare la sezione **Generica**.

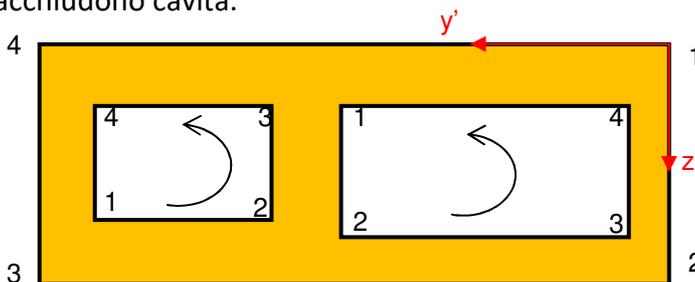
La sezione viene definita mediante le coordinate dei suoi vertici rispetto al **sistema di riferimento utente y'z'** di cui sopra.

I vertici della sezione vanno inseriti **in senso orario**.

Nel caso di sezioni cave le poligonali che definiscono la sezione sono più di una. Ad es. nel caso di sezione scatolare di seguito riportata occorre inserire due poligonali: la prima, esterna, con i vertici che si inseriscono **in senso orario**, la seconda, interna e che racchiude la cavità, con i vertici che si inseriscono **in senso antiorario** (il sistema di riferimento è unico per tutte le poligonali).



Per il seguente altro esempio, la sezione è definita da tre poligonali, di cui due che racchiudono cavità.



Il software consente di gestire sezioni pluri-connesse fino a cinque poligonali.

Per le sezioni generiche le armature si inseriscono per pacchetti, come già indicato in precedenza.

Nel caso di calcolo di sezione in c.a.p. occorre precisare, per ogni pacchetto di armatura, se trattasi di armatura da precompressione (acciaio armonico) o di armatura ordinaria non precompressa.

L'area di acciaio può essere posizionata anche fuori dalla sagoma dell'area di cls. Questo permette di modellare ad es. le piattabande di sezioni in acciaio collegate a

solette di cls. La rappresentazione grafica sarà effettuata con tondini equivalenti di pari area.

Terminato l'inserimento dei dati è opportuno visualizzare il **Disegno sezione** dal menù VISUALIZZA. Questo permette di verificare se l'input della sezione e delle armature è avvenuto correttamente.

5.2 Rinforzi a flessione e/o taglio con FRP

Nel caso di rinforzo a flessione e/o taglio, qui si inseriscono i parametri geometrici (in cm) dei compositi. Lo spessore t_f del composito può essere formato da uno o più lamine sovrapposte.

Inserendo o meno lo spessore delle strisce t_f , può

sceglersi il tipo di rinforzo da adottare: a flessione; a taglio; entrambi.

5.3 Confinamento con compositi FRP

Nel caso di confinamento con compositi FRP occorre specificare il tipo di confinamento (continuo o discontinuo) e le dimensioni delle strisce. Nel caso di

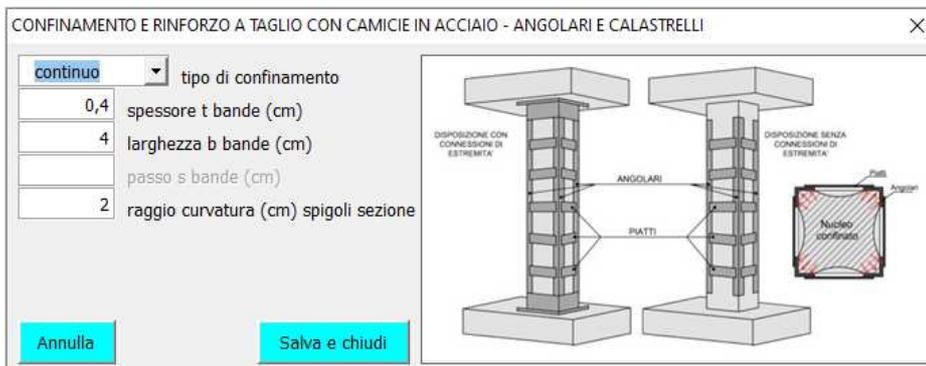
confinamento continuo il passo delle strisce coincide con la loro larghezza. L'angolo di inclinazione è riferito all'angolo che la striscia forma con la normale all'asse dell'elemento confinato (la migliore efficienza di confinamento si ha quando tale angolo è nullo ovvero quando le

strisce sono ortogonali all'asse dell'elemento).

Il raggio di curvatura degli spigoli della sezione, necessario per evitare strappi nel composito, deve essere almeno 2 cm.

5.4 Confinamento e rinforzo a taglio con camicie di acciaio o metodo CAM

Si procede analogamente a quanto indicato nel paragrafo precedente.



6 MATERIALI

6.1 Calcestruzzo e acciaio

DATI MATERIALI

30 resistenza caratt. cubica del cls, Rck (N/mm²)
Classe di resistenza: C25/30

B450C tipo di acciaio

imposta parametri **calcola parametri** **cancella dati**

31447 modulo elastico longit. cls Ec (N/mm²)
210000 modulo elastico longit. acciaio Es (N/mm²)
15 coefficiente di omogeneizzazione n

VERIFICHE SEZIONI ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

_____ tens. ammiss. di compressione nel cls (N/mm²)
_____ tens. tang. ammiss. nel cls, tc0 (N/mm²)
_____ tens. tang. ammiss. nel cls, tc1 (N/mm²)
_____ tens. ammiss. acciaio (N/mm²)
_____ tens. ammiss. convenzionale acciaio (N/mm²)

VERIFICHE SEZIONI AGLI S.L.U.

Diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo

parabola-rettangolo (preferibile) 0,2 deformazione ec2 (%)
 triangolo-rettangolo 0,175 deformazione ec3 (%)
 rettangolo o stress block 0,07 deformazione ec4 (%)
 calcestruzzo confinato 0,35 deformazione di rottura (%)

1,5 coeff. parziale di sicurezza calcestruzzo
32,9 resist. media a compress. cilindrica, fcm (N/mm²)
25 resist. caratt. a compress. cilindrica, fck (N/mm²)
14,2 resist. di progetto a compressione, fcd (N/mm²)
2,56 resist. media a trazione, fctm (N/mm²)
1,79 resist. caratteristica a trazione, fctk (N/mm²)
1,19 resist. di progetto a trazione, fctd (N/mm²)

Diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio

elastico-perfettamente plastico 6,75 deformazione a rottura (%)
 bilineare con incrudimento 1,2 rapporto di sovrarresistenza k (>1)

1,15 coeff. parziale di sicurezza acciaio
450 tensione caratt. di snervam. acciaio, fyk (N/mm²)
391,3 resistenza di progetto acciaio, fyd (N/mm²)

Sezione in Cemento armato precompresso - acciaio ordinario

_____ tensione caratt. di snervam. acciaio ordinario, fyk (N/mm²)

Annulla **Salva e chiudi**

Con questo pannello vengono definite le caratteristiche fisiche e meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio presenti nella sezione. Nel caso di incaminiatura in c.a. su sezione esistente, questo pannello è relativo ai materiali nuovi.

È necessario specificare la resistenza caratteristica del calcestruzzo R_{ck} (in automatico viene evidenziata la corrispondente classe) e il tipo di acciaio⁴, nonché, se si procede agli SLU, i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio e il tipo di diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo e dell'acciaio.

Il bottone **imposta parametri** permette di impostare alcuni parametri che servono al calcolo di tutti gli altri per mezzo del bottone **calcola parametri**: i parametri relativi al cls e all'acciaio vengono determinati in funzione della classe del calcestruzzo (R_{ck}), del tipo di acciaio e della normativa di riferimento prescelti (le formule adottate, prelevate dalla normativa di riferimento, sono indicate nella *Relazione di calcolo*). Attenzione ad adottare il corretto valore del coefficiente di omogenizzazione n a seconda della normativa prescelta e del tipo di verifica da svolgere. Resta comunque salva la possibilità per l'utente di modificare i dati calcolati in automatico o di inserirne altri a piacimento senza effettuare il calcolo tramite i citati bottoni.

Nel caso di sezione in C.A.P. i dati del diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio sono ovviamente riferiti all'acciaio armonico. Se nella sezione è anche presente acciaio ordinario (non preteso) occorre anche indicare, nel campo in basso a destra, la relativa tensione caratteristica di snervamento.

6.2 Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC)

Qui vengono inseriti i parametri che definiscono la legge costitutiva tensione-deformazione a trazione del cls fibrorinforzato.

DATI RESISTENZA A TRAZIONE CLS FIBRORINFORZATO - FRC

Diagramma di progetto tensione-deformazione a trazione del calcestruzzo

lineare incrudente 0,2 deformazione e_{Fs} (%) di picco
 lineare degradante 2 deformazione e_{Fu} (%) di rottura a trazione
 rigido-plastico 2,12 resistenza di progetto a trazione residua di esercizio f_{Fts} ()
 0,424 resistenza di progetto a trazione residua ultima f_{Ftu} ()

diagramma lineare (incrudente o degradante) diagramma rigido-plastico

Il diagramma rigido-plastico si può utilizzare per le sole verifiche SLU. Il diagramma lineare incrudente o degradante è utilizzabile sia per le verifiche SLU che SLE.

Il bottone **valori consigliati** permette di impostare i parametri, fatta salva la possibilità per l'utente di modificare i dati suggeriti.

6.3 Compositi fibrorinforzati FRP

Alcuni parametri vengono suggeriti sulla base di tipo di FRP scelto, altri possono essere calcolati premendo su "calcola parametri".

⁴ Tipi di acciaio previsti per il calcolo in base al DM1992: **Fe B 22 k**, **Fe B 32 k**, **Fe B 38 k**, **Fe B 44 k**. Tipo di acciaio previsto per il calcolo in base al DM 2008 e al DM 2018: **B450C**.

La deformazione al lembo teso preesistente applicazione del rinforzo può essere calcolata dal software (calcolo in assenza di FRP) e poi inserita come input dall'utente.

I FRP sono materiali eterogenei ed anisotropi che presentano un comportamento prevalentemente elastico-lineare fino a rottura, con elevate resistenze (solo) a trazione.

DATI MATERIALE COMPOSITO A MATRICE POLIMERICA FRP

alto modulo E rigidezza FRP
composito impregnato in situ tipo di FRP

imposta parametri calcola parametri cancella dati

300000	modulo elastico longitudinale Ep (N/mm ²)
1500	tensione caratteristica di rottura fpk (N/mm ²)
1,1	coeff. parziale di sicurezza FRP per i SLU
1,35	coeff. parziale di sicurezza per il SLU di distacco dal supporto (1,2-1,5)
0,95	fattore di conversione ambientale (0,5-0,95)
0,8	fattore di conversione per effetti di lunga durata (0,3-0,8)
1,35	fattore di confidenza FC (1-1,35)
1295	resistenza di progetto fpd per SLU (N/mm ²)
1036	resistenza di progetto fpd per SLE (N/mm ²)
0,5	deformazione caratteristica a rottura Eps_pk (%)
0,43	deformazione di progetto a rottura Eps_pu (%)
0,20	deformazione nel lembo teso preesistente all'applicazione del rinforzo (%)

Annulla Salva e chiudi

Possono essere preformati in stabilimento ed incollati all'elemento strutturale da rinforzare o impregnati in situ (foglio e tessuti di fibre uni o multi direzionali impregnati con una resina che funge anche da adesivo).

Di seguito vengono riportati alcuni valori medi delle principali proprietà meccaniche delle fibre e dei compositi FRP:

Tabella 2-1 – Confronto tra proprietà meccaniche di un prodotto preformato con quelle delle corrispondenti fibre.

Sistemi preformati	Modulo di elasticità normale [GPa]		Tensione di rottura [MPa]		Deformazione a rottura [%]	
	FRP E_f	Fibre E_{fib}	FRP f_f	Fibre f_{fib}	FRP ϵ_{fu}	Fibre $\epsilon_{fib,u}$
CFRP (basso modulo)	160	210-230	2800	3500-4800	1.6	1.4-2.0
CFRP (alto modulo)	300	350-500	1500	2500-3100	0.5	0.4-0.9

Il coefficiente parziale di sicurezza per lo stato limite ultimo di distacco dal supporto assume un valore compreso tra 1,2 e 1,5 in funzione della maggiore o minore possibilità di prevedere, per lo specifico caso, l'effettivo comportamento del composito nei riguardi del distacco dal supporto.

Indicato con f_{pk} la tensione caratteristica a rottura del FRP, la resistenza di progetto si ricava con:

$$f_{pd} = \eta \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma_m}$$

- in cui $\eta = \eta_a \cdot \eta_l$ è un fattore di conversione che tiene conto dell'influenza dei fattori ambientale (η_a) e dei carichi di lunga durata (η_l). Nel caso di verifiche allo SLU si assume $\eta = \eta_a$. Per i fattori di conversione si possono assumere i seguenti valori di cui alla norma CNR-DT 200 R1/2013:

Tabella 3-2– Fattore di conversione ambientale η_a per varie condizioni di esposizione e vari sistemi di FRP.

Condizione di esposizione	Tipo di fibra / resina	η_a
Interna	Vetro / Epossidica	0.75
	Arammidica / Epossidica	0.85
	Carbonio / Epossidica	0.95
Esterna	Vetro / Epossidica	0.65
	Arammidica / Epossidica	0.75
	Carbonio / Epossidica	0.85
Ambiente aggressivo	Vetro / Epossidica	0.50
	Arammidica / Epossidica	0.70
	Carbonio / Epossidica	0.85

Tabella 3-3 – Fattore di conversione per effetti di lunga durata η_l per vari sistemi di FRP (carichi di esercizio).

Modalità di carico	Tipo di fibra / resina	η_l
Carico di lungo termine	Vetro / Epossidica	0.30
	Arammidica / Epossidica	0.50
	Carbonio / Epossidica	0.80
Ciclico	Tutte	0.50

- γ_m è il coefficiente parziale del materiale FRP (vale 1,1 per gli SLU, 1 per gli SLE).

La deformazione di progetto a rottura si ottiene con ($\epsilon_{pk}=f_{pk}/E_p$ è la deformazione caratteristica a rottura del FRP fornita dal produttore):

$$\epsilon_{pu} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \eta \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma_m \cdot E_p} = \frac{\eta}{\gamma_m} \cdot \epsilon_{pk}$$

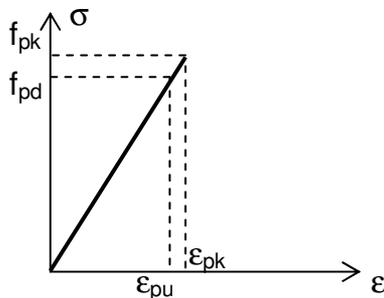


Diagramma elastico lineare

$$f_{pd} = E_p \cdot \epsilon_{pu}$$

6.4 Acciaio per camicie di acciaio o CAM

Nel caso di rinforzo con camicie di acciaio o metodo CAM occorre indicare le caratteristiche meccaniche dell'acciaio. La maggior parte dei valori possono essere impostati a quelli indicati dalle NTC, mentre la resistenza di progetto f_{yd} viene

calcolata con la formula $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

CAMICIE DI RINFORZO IN ACCIAIO - ANGOLARI E CALASTRELLI

S 275 tipo di acciaio

valori normativa

210000 modulo elastico longitudinale E (N/mmq)

430 tensione caratteristica di rottura ftk (N/mmq)

275 tensione caratteristica di snervamento fyk (N/mmq)

1,05 coeff. parziale calcolo resistenze sezioni di classe 1-2-3-4

calcola

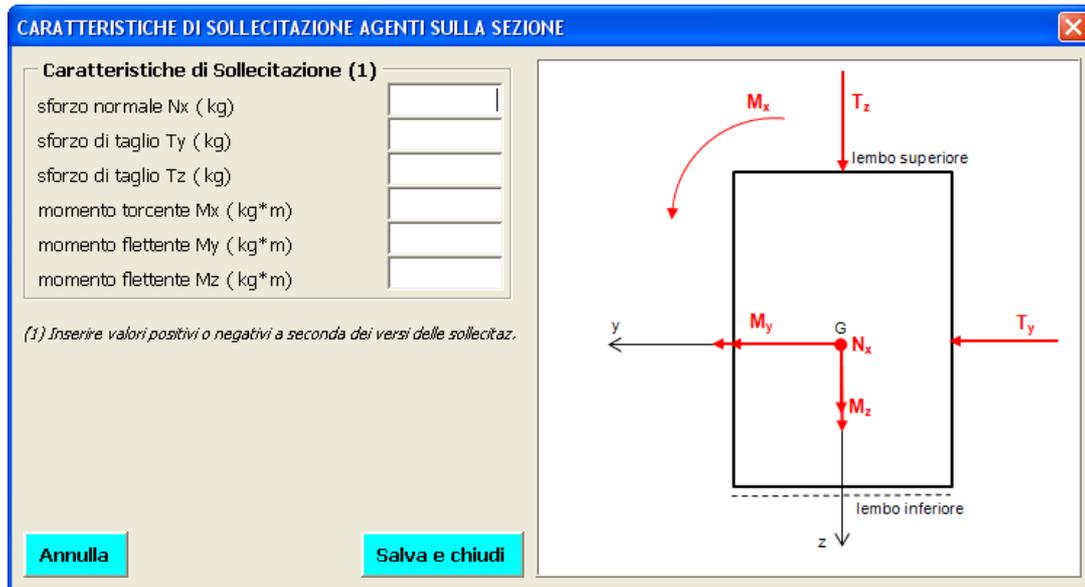
262 resistenza di progetto acciaio fyd (N/mmq)

Annulla Salva e chiudi

7 SOLLECITAZIONI

7.1 Sollecitazioni per verifiche di resistenza allo S.L.U.

Con questo menù vengono inseriti i valori delle caratteristiche di sollecitazione di progetto relativi alle verifiche di resistenza.



Se in DATI GENERALI si è scelto “Sollecitazioni piane ...” saranno attivi solo i campi N_x , T_z e M_y . Diversamente, trattandosi di stato di sollecitazione generale, sono attivi tutti i campi relativi alle sei componenti di sollecitazione:

- ✓ N_x (sforzo normale)
- ✓ T_y , T_z (tagli)
- ✓ M_x (momento torcente)
- ✓ M_y e M_z (momenti flettenti)

Le sollecitazioni sono riferite al baricentro G della sezione omogeneizzata.

Il software permette quindi la verifica sia per le sollecitazioni semplici (sforzo normale centrato di compressione o di trazione, flessione semplice retta o deviata, taglio puro, torsione pura) che per quelle composte (taglio e flessione, presso-flessione retta o deviata, tenso-flessione retta o deviata, presso-flessione, taglio e torsione ecc.). Ad esempio se la sola componente non nulla è M_y si ha la flessione semplice; se la sola componente non nulla è N_x si ha sforzo normale centrato e così via.

Riguardo ai segni delle sollecitazioni (positivo o negativo) si precisa che:

- lo sforzo normale N_x è positivo se di trazione (concorde con l'asse x che coincide con l'asse della trave), negativo se di compressione
- lo sforzo di taglio T_y è positivo se concorde con l'asse y
- lo sforzo di taglio T_z è positivo se concorde con l'asse z

- il momento torcente M_x è positivo se l'asse momento è concorde con l'asse x (provoca rotazione antioraria della sezione)
- il momento flettente M_y è positivo se l'asse momento è concorde con l'asse y (fibre tese quelle inferiori dell'asta)
- il momento flettente M_z è positivo se l'asse momento è concorde con l'asse z (fibre tese poste lungo il lato destro della sezione).

N.B. E' notorio che le caratteristiche di sollecitazione che derivano dal calcolo dell'intera struttura agli Stati Limite Ultimi sono maggiori (mediamente sono amplificate del fattore 1,4-1,5 che corrisponde all'incirca al coefficiente parziale o di amplificazione dei carichi), per una fissata sezione, da quelle che derivano dal calcolo alle Tensioni Ammissibili. Di questo fatto si deve tenere conto se si vuole fare il confronto tra i risultati ottenuti con i due metodi per una fissata sezione.

7.2 Sollecitazioni per verifiche agli S.L.E.

Per le verifiche agli stati limite di esercizio (previste dalla NTC) le sollecitazioni, derivanti dalle combinazioni di carico di esercizio, sono diverse dalle sollecitazioni finalizzate alle verifiche di resistenza (combinazioni di carico agli stati limite ultimi).

Per la verifica di fessurazione occorre riferirsi alle combinazioni "Frequente" e "Quasi permanente". Per la verifica delle tensioni di esercizio ci si riferisce alle combinazioni "Rara" e "Quasi permanente". Infine, per la verifica di deformabilità ci si riferisce alla combinazione "Quasi permanente".

8 STABILITA' ASTA

Qui si inseriscono gli ulteriori dati per effettuare la **verifica a carico di punta**, che è una verifica di stabilità dell'asta nel suo complesso.

La verifica a carico di punta è necessaria solo quando l'asta pilastro è interessata, lungo tutto lo sviluppo, da sforzo normale di compressione, costante o variabile (purché sempre negativo).

Lo sforzo normale (di compressione <0) di riferimento N_r e il momento flettente di riferimento M_r , con cui condurre la verifica a carico di punta, sono valori riferiti all'asta nel suo complesso (nel caso più generale il momento flettente e lo sforzo normale variano lungo l'asta). Tali valori possono ricavarsi con le seguenti regole: 1) come sforzo normale di riferimento si considera il massimo valore lungo l'asta ($N_r = N_x^{\max}$); 2) come momento flettente di riferimento si assume:

$$M_r = 1,3 \cdot |M_{y,m}|$$

con $M_{y,m}$ momento flettente medio lungo l'asta e con la limitazione $0,75 M_{y,\max} \leq M_{y,r} \leq M_{y,\max}$, essendo $M_{y,\max}$ il momento flettente massimo lungo l'asta:

$$M_{y,\max} = \max |M_y|$$

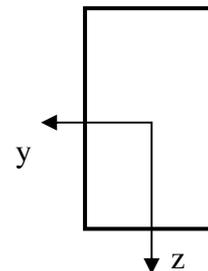
Nel caso di asta con momento costante il momento di riferimento si assume pari a tale valore.

I momenti all'estremità dell'asta vengono richiesti nel calcolo con le NTC 2008.

Occorre altresì inserire la lunghezza L dell'asta ed i coefficienti β che tengono conto della natura dei vincoli di estremità dell'asta, distinguendo per i due piani di flessione zx e xy . Quando l'inflessione laterale è possibile solo nel piano locale xz occorre tenere basso il coefficiente β_y (ad es. 0,5 o anche meno purché diverso da zero).

Si possono assumere i seguenti valori:

- $\beta = 1$ se i vincoli dell'asta possono assimilarsi a cerniere
- $\beta = 2$ per le travi e mensole
- $\beta = 0,8$ per le travi con un incastro e una cerniera
- $\beta = 0,7$ per le travi doppiamente incastrate



Per le travi a mensola la distanza L da inserire è la distanza tra la sezione incastrata e quella di applicazione del carico.

9 ALTRI DATI

9.1 Comportamento struttura

Occorre scegliere, per le travi o pilastri⁵ con calcolo con le NTC 2008 e 2018, l'opzione "no azioni sismiche o struttura non dissipativa" o l'opzione "si azioni sismiche e struttura dissipativa", al fine di definire i quantitativi minimi e massimi di armatura da considerare nel calcolo di progetto o di verifica. Nel caso di struttura dissipativa occorre specificare la classe di duttilità tra alta o media.

⁵ Le travi di fondazione superficiali vengono progettate assumendo un comportamento non dissipativo e quindi non sono necessarie armature specifiche per ottenere un comportamento duttile.

9.2 Progetto armature longitudinali a flessione

Quando si effettua il calcolo di progetto occorre indicare/scegliere:

- diametro d_f dei tondini (minimo 12 mm);
- (per le travi con sezione diversa dalla circolare) il rapporto armature $\mu = A'_f/A_f$, compreso tra 0 e 1 (armatura in zona compressa su armatura in zona tesa)⁶;
- l'interasse massimo tra le barre di armatura (ad es. nel caso di costruzione soggetta ad azione sismica con calcolo con le NTC l'interasse massimo è pari a 25 cm);
- la distanza minima tra i perimetri di due barre successive (**interferro**), da stabilire in relazione alla dimensione media degli inerti che costituiscono il cls (si suggerisce di non scendere sotto i 2-3 cm).

Nel calcolare l'armatura longitudinale a flessione il software adotta i seguenti criteri:

- tondini (minimo 4) aventi lo stesso diametro d_f in tutta la sezione (il minimo di barre è 6 per le sezioni circolari)
- un tondino in ogni spigolo della sezione
- tondini disposti lungo una polilinea che segue il perimetro della sezione, distanziata da quest'ultimo della quantità $c_f + d_f/2$, con c_f copriferro
- rispetto dei valori di

interferro e di interasse massimo tra le barre fissati dall'utente

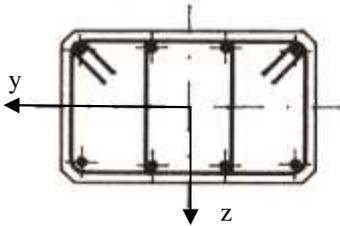
- rispetto dei valori minimi e massimi di quantitativi di armatura previsti dalla normativa
- per i pilastri i tondini sono disposti in modo (quasi) uniforme lungo il contorno della sezione
- per le travi si rispetta il rapporto armature μ disponendo i tondini in relazione ai momenti flettenti agenti ed ai loro segni, prevalentemente in zona tesa.

⁶ Le NTC (paragr. 7.4.6.2.1) impongono che in zona sismica si abbia μ almeno pari a 0,25 (meglio 0,5).

Osservazione. Qualora si voglia progettare una sezione adottando tondini aventi più diametri e/o per forme di sezione generiche, si può procedere con il calcolo di progetto manuale indicato in precedenza nel paragrafo 3.1.1.

9.3 Armatura trasversale a Taglio

L'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale a taglio rispetto all'asse della trave deve essere maggiore di 0° e minore o uguale a 90° . Per le staffe, ortogonali all'asse della trave, si indicherà 90° . Per l'angolo ϑ di inclinazione delle fessure il valore di default è 45° .



Il numero di braccia delle staffe può essere differente nelle due direzioni y e z principali della sezione.

Nel caso rappresentato accanto, occorre inserire il valore 4 per la direzione z e il valore 2 per la direzione y.

Nel caso di sezione circolare piena o cava occorre precisare se le staffe sono circolari singole o a spirale.

L'interasse tra le armature trasversali si inserisce nel calcolo di verifica. Nel calcolo di progetto è un output del problema.

9.4 Armatura a Torsione

L'armatura longitudinale a torsione, da inserire nel calcolo di verifica, è quella destinata alla sola sollecitazione di torsione (somma delle aree dei tondini resistenti a torsione nel modello a traliccio contenuto dentro il tubo cavo). Nel calcolo di progetto è un output.

Anche qui, l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale a torsione rispetto all'asse della trave deve essere maggiore di 0° e minore o uguale a 90° . Per le staffe, ortogonali all'asse della trave, si indicherà 90° .

L'interasse tra le armature trasversali si inserisce nel calcolo di verifica. Nel calcolo di progetto è un output del problema.

9.5 Diagramma momenti-curvature

Per la costruzione del diagramma momenti-curvature (flessione retta-sollecitazione piane), necessario con le NTC 2018 per fare le verifiche di duttilità quando richieste (v. Relazione di calcolo), è necessario specificare i valori dei parametri indicati.

Come già detto, all'aumentare del numero di posizioni di assi neutri da analizzare (per ogni valore di M_y sollecitante si conosce la direzione dell'asse neutro ma non la posizione) e al diminuire dell'altezza della striscia di cls (dell'area del cls compressa presa a riferimento nel calcolo iterativo), aumenta il tempo necessario ad eseguire i calcoli che può essere anche dell'ordine del minuto. Allo scopo è opportuno utilizzare i valori consigliati premendo il relativo bottone.

L'intervallo di variazione dell'asse neutro viene suggerito dal software. Qualora a calcolo eseguito il software restituisce un intervallo di variazione dell'asse neutro

diverso, questi ultimi dati possono essere inseriti in questo pannello per effettuare un nuovo calcolo ed avere un diagramma momenti-curvature ancora più preciso.

Se si vuole ottenere anche il diagramma momenti curvature relativo al momento flettente M_z (e la corrispondente duttilità della sezione) basta inserire i dati della sezione ruotata di 90° .

9.6 Sezione in c.a.p.

Nel calcolo allo stato limite ultimo (NTC) delle sezioni in C.A.P. occorre indicare la deformazione iniziale ϵ_0 dell'acciaio armonico dovuta alla pretensione, prima che lo stesso diventi solidale con il cls.

10 VERIF. S.L.E.

valori NTC	
tensione ammiss. nel cls per la combinaz. caratteristica	60 % di fck
tensione ammiss. nel cls. per la combinaz. quasi permanente	45 % di fck
tensione ammiss. nell'acciaio per la combinaz. caratteristica	80 % di fyk

In questo pannello si indicano gli ulteriori dati per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio. I metodi di calcolo dell'ampiezza delle fessure utilizzabili sono quelli codificati dalla Circolare [4] (relativa al DM 1996) e dalla Circolare [6] (relativa al DM 2008). Nella *Relazione di calcolo*, che accompagna il software, sono riportate le formule implementate.

Nell'inserire il valore del coefficiente K per il calcolo della snellezza limite può farsi riferimento alla tabella C4.1.I della Circolare del 2019

sulle NTC.

11 CALCOLO

Finita la fase di input è possibile avviare il calcolo premendo il relativo pulsante. Il calcolo, che viene concluso nel giro di pochi secondi, si può ripetere tutte le volte che si vuole, ad es. variando singoli parametri di input.

Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità geometrica e meccanica dei dati introdotti segnalando eventuali errori che comportano l'interruzione del calcolo. Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche e meccaniche che non permettano l'elaborazione; non

segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali ne altri tipi di errori.

Le metodologia e le teorie di calcolo implementate nel software sono riportate nella **Relazione di calcolo** che correda il software.

12 OUTPUT – Menù VISUALIZZA

L'applicativo fornisce i seguenti risultati che possono essere stampati dal menù FILE.

L'esito negativo delle verifiche o del progetto viene messo in evidenza con **scritte in grassetto di colore rosso**. Se pertanto nel tabulato di calcolo non ci sono righe di colore rosso allora significa che le verifiche sono tutte soddisfatte.

12.1 Dati sul materiale e sulla sezione

Dati sui materiali

Moduli di elasticità longitudinali E; tensioni ammissibili normale e tangenziale, resistenze unitarie a compressione e a trazione, ecc. (si tratta dei dati che sono già visualizzati nei pannelli del menù MATERIALI una volta cliccato sui tasti "Calcola parametri").

Dati geometrici e statici della sezione

- ✓ area della sezione di cls e area complessiva dei ferri
- ✓ momenti statici e di inerzia rispetto agli assi del sistema di riferimento utente $y'z'$
- ✓ posizione del baricentro G della sezione omogeneizzata
- ✓ momenti di inerzia rispetto agli assi yz paralleli a $y'z'$ e passanti per G
- ✓ momenti di inerzia rispetto agli assi principali d'inerzia y_p e z_p
- ✓ raggi giratori di inerzia.

Per le sezioni diverse dalla generica il sistema di riferimento $y'z'$ (c.d. utente) è definito in automatico dal software (origine nel vertice alto a destra della sezione, tranne che per la sezione circolare piena o cava dove l'origine è nel centro della sezione). Il sistema di riferimento utente è comunque visibile quando si visualizza il disegno della sezione.

12.2 Calcolo alle tensioni ammissibili

Tensioni normali agenti sulla sezione e verifica di resistenza alle tensioni normali

- ✓ momenti statici e di inerzia della sezione reagente (cls compresso+armature) rispetto agli assi $y'z'$
- ✓ posizione del baricentro G_r della sezione reagente

- ✓ individuazione della porzione di cls compresso e dell'asse neutro, quando presente. La porzione compressa viene rappresentata nel disegno della sezione mediante poligono puntinato di colore rosso
- ✓ tensioni normali nel cls (in ogni vertice della sezione)
- ✓ tensioni normali in corrispondenza di tutte le barre di armatura
- ✓ massima tensione normale di compressione nel cls e di trazione o compressione nell'acciaio
- ✓ verifica di resistenza attraverso il confronto con le tensioni ammissibili

Tensioni tangenziali agenti sulla sezione e verifica di resistenza alle tensioni tangenziali

- ✓ tensioni tangenziali massime nella sezione prodotte dal taglio e dalla torsione
- ✓ verifica di resistenza attraverso il confronto con le tensioni ammissibili

Verifiche di stabilità dell'asta nel suo complesso

Verifica a carico di punta (lunghezza libera d'inflessione, carico critico Euleriano, snellezza dell'asta, coefficiente omega di amplificazione dello sforzo normale, esito verifiche).

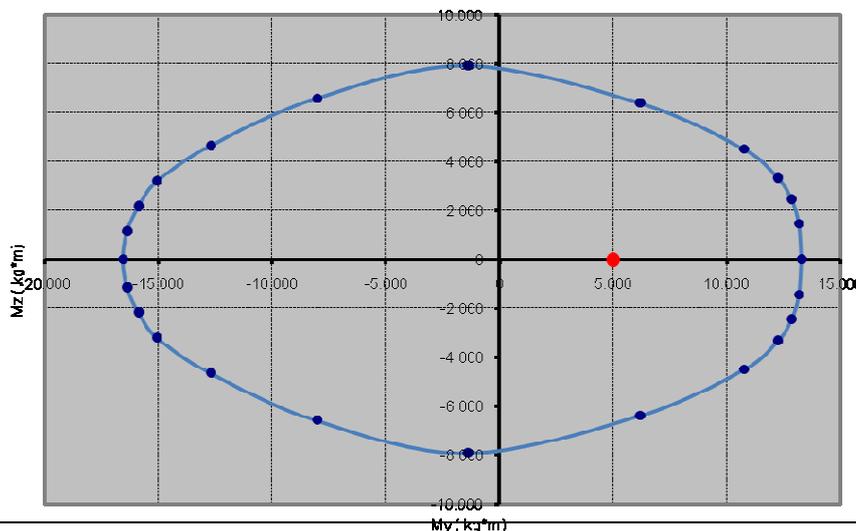
12.3 Calcolo agli SLU

Calcestruzzo confinato

Nel caso di cls confinato da staffe chiuse e legature o da compositi FRP o da camicie in acciaio, il software restituisce la resistenza di progetto a compressione f_{ccd} , la deformazione alla resistenza massima ϵ_{c2c} e la deformazione di rottura o ultima ϵ_{cuc} del cls confinato, in funzione dell'efficienza del confinamento.

Verifica di resistenza alle tensioni normali

Nel caso di sollecitazioni spaziali, il software costruisce il **dominio di rottura M_y-M_z** , ossia il luogo dei punti nel piano M_y-M_z che, per dato valore dello sforzo normale agente N_{xE} , determinano la rottura della sezione. Noto il dominio di rottura è possibile effettuare la **DOMINIO DI ROTTURA M_y-M_z** verifica di resistenza per via

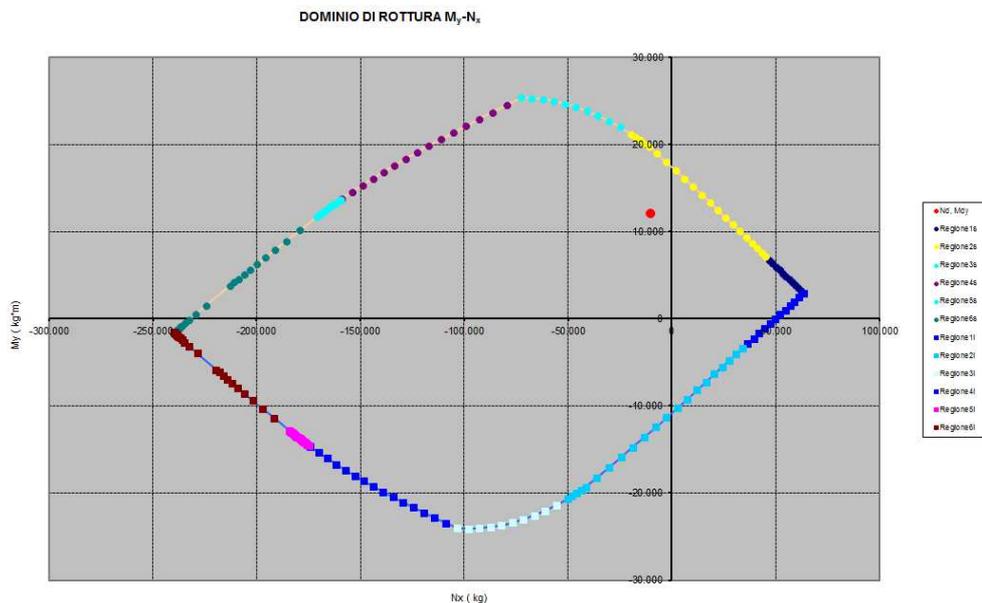


grafica andando a constatare che il punto in rosso, che indica le sollecitazioni di progetto $M_{yE}-M_{zE}$, sia non esterno al dominio stesso.

La verifica di resistenza oltre che per via grafica, come sopra detto, viene condotta per via analitica. Infatti vengono determinati i due momenti ultimi M_{zu_s} e M_{zu_i} corrispondenti ai punti di intersezione del dominio con la verticale tracciata per il punto rosso rappresentativo delle sollecitazioni M_{yE} M_{zE} di progetto. La verifica di resistenza è soddisfatta se risulta

$$M_{zu_i} \leq M_{zE} \leq M_{zu_s}$$

Nel caso di sollecitazioni piane su sezioni simmetriche rispetto all'asse z, il software costruisce il **dominio di rottura N_x - M_y** , ossia il luogo dei punti nel piano N_x - M_y che determinano la rottura della sezione. Noto il dominio di rottura è possibile effettuare la verifica di resistenza per via grafica andando a constatare che il punto in rosso, che indica le sollecitazioni di progetto N_{xE} - M_{yE} , sia non esterno al dominio stesso.



Anche qui la verifica di resistenza oltre che per via grafica viene condotta per via analitica. Infatti vengono determinati i due momenti ultimi M_{yu_s} e M_{yu_i} corrispondenti ai punti di intersezione del dominio con la verticale tracciata per il punto rosso rappresentativo delle sollecitazioni N_{xE} M_{yE} di progetto. La verifica di resistenza è soddisfatta se risulta

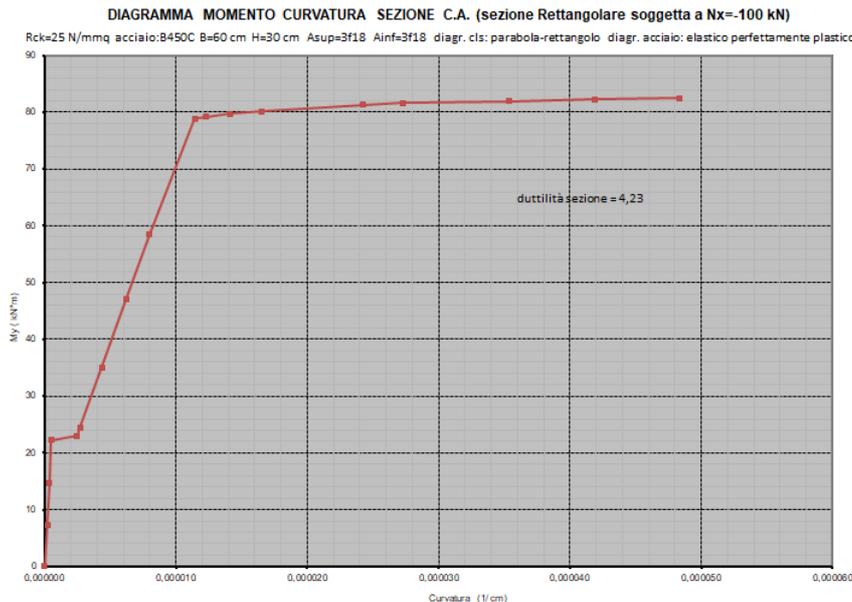
$$M_{yu_i} \leq M_{yE} \leq M_{yu_s}$$

Nel caso di **pilastri soggetti a compressione assiale** ($N_x < 0$, $M_y = M_z = 0$), in ossequio a quanto previsto al paragrafo 4.1.2.3.4.2 delle NTC il software assume la componente flettente $M_y = e \cdot N_x$ con eccentricità "e" pari a 1/200 dell'altezza libera di inflessione del pilastro (con le NTC 2008 l'eccentricità è pari a 0,05H, con H altezza della sezione) e comunque non minore di 20 mm. In questi casi il punto in rosso che indica le sollecitazioni di progetto avrà coordinate, nel dominio di rottura, N_{xE} M_{yE} , con M_{yE} calcolato come prima.

Nel calcolo dei domini di rottura e delle resistenze a compressione semplice e a flessione della sezione il software tiene conto dell'eventuale presenza dei rinforzi.

Verifica di duttilità

Il software restituisce il diagramma momenti-curvature, costruito per punti e in maniera rigorosa tenendo conto dei diagrammi di progetto dei materiali cls (eventualmente confinato da staffe chiuse e legature o da compositi FRP o da camicie in acciaio) e acciaio, e il valore della duttilità della sezione (rapporto tra la curvatura ultima della sezione e la curvatura corrispondente allo snervamento dell'armatura tesa).



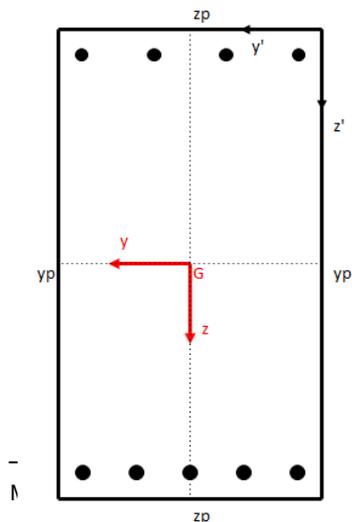
Verifica/progetto a taglio e a torsione

- ✓ Verifica di resistenza allo SLU per le sollecitazioni di taglio (si tiene conto degli eventuali rinforzi adottati) e di torsione;
- ✓ Calcolo/verifica armatura trasversale a taglio e torsione.

Verifiche di stabilità dell'asta nel suo complesso

- ✓ Verifica a carico di punta col metodo della "colonna-modello"; viene costruito il dominio di rottura N_x-M_y che consente di capire se la verifica di stabilità è soddisfatta o meno.

12.4 Disegno della sezione



Dal menù VISUALIZZA è possibile vedere il disegno, alla scala fissata, della sezione con indicata l'armatura. Vengono indicate le posizione dei tondini, del baricentro G della sezione omogeneizzata, degli assi utente $y'z'$, degli assi yz passanti per G e paralleli a $y'z'$, degli assi principali di inerzia $y_p z_p$

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 33 di 58
---	----------------------	---------------

13 LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE

L'autore conferisce licenza d'uso non esclusiva dell'applicativo, ma rimane titolare sia dello stesso che della relativa documentazione. L'uso è consentito **su un singolo computer** e, pertanto, non potrà essere utilizzato in rete, venduto, dato in locazione o in comodato ad un altro utente, né essere decodificato o decompilato, adattato o modificato, senza previo consenso scritto dell'autore.

L'utente non potrà rimuovere o alterare il nome dell'applicativo o altre indicazioni di riserva di diritti apposti o inseriti nel programma.

Non è consentito l'inserimento in pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore. L'autore si riserva il diritto di apportare modifiche al software e alla documentazione senza preavviso.

Per potere utilizzare l'applicativo è indispensabile che l'utente disponga ed abbia già installato sul proprio computer il programma Excel® della Microsoft, non fornito dall'autore e senza il quale questo software non può essere utilizzato.

L'autore garantisce che l'applicativo funziona in conformità con il presente manuale d'uso e che esso non contiene virus.

L'uso dell'applicativo è subordinato alla conoscenza dei problemi ingegneristici di che tratta (si presume che l'uso dell'applicativo avvenga da parte di persone qualificate). È stato curato in gran parte il controllo dei dati inseriti.

La verifica dell'idoneità, dell'uso e della gestione dell'applicativo sono responsabilità esclusiva dell'utente. L'autore non garantisce che le funzioni contenute nell'applicativo siano idonee a soddisfare le esigenze dell'utente, né garantisce che i difetti riscontrati nell'applicativo vengano corretti. Non garantisce altresì circa i danni od i benefici ottenuti dalla utilizzazione del software.

L'autore è espressamente sollevato da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto od indiretto, di ogni genere e specie derivante dall'uso del software, compreso, tra l'altro, quello improprio, erroneo o fraudolento. L'intero rischio circa la qualità e le prestazioni dell'applicativo è a carico dell'utente ed i risultati devono essere verificati personalmente.

In nessun caso il limite di responsabilità a carico dell'autore potrà superare l'importo per l'acquisto dell'applicativo.

Per tutto quanto sopra non indicato, il presente contratto è regolato dalle leggi sul copyright, sul diritto d'autore e dalle altre leggi nazionali applicabili. Per qualsiasi controversia fra le parti sarà competente in via esclusiva il Foro di Palermo.

<p>SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)</p>	<p>Manuale d'uso</p>	<p>Pag. 34 di 58</p>
---	-----------------------------	----------------------

APPENDICE 1 - Novità versioni del software

Versione 5.0

- implementazione, per il calcolo agli SLU, delle sezioni **Circolare piena o cava** e **Scatolare**
- verifica di stabilità (carico di punta) con la metodologia allo SLU (**metodo "colonna-modello"**), per le sole aste a sezione rettangolare
- **verifica allo SLU per taglio** con la nuova formulazione di cui al DM 14/01/2008

Versione 6.0

- possibilità di **verificare sezioni di qualunque forma**, anche irregolare (nella precedente versione le sezioni implementate erano le seguenti: rettangolare, a T, a T rovescia, a doppio T, scatolare, circolare piena o cava). Anche le **armature possono essere comunque disposte** e di diametro differente tra loro
- possibilità di calcolare le sezioni **con tutte le sei componenti di sollecitazione** N_x , T_y , T_z , M_x , M_y , M_z (verifica a presso/tenso flessione deviata, anche in presenza di taglio deviato e torsione). Nella precedente versione il calcolo era possibile in presenza solamente di N_x , T_z e M_y (al massimo presso/tenso flessione retta + taglio)
- **nuove leggi costitutive** dei materiali nel calcolo agli SLU
- **calcolo dell'armatura trasversale a taglio e a torsione**
- verifiche di stabilità a carico di punta anche per sezioni di forma diversa dalla rettangolare (nella precedente versione era possibile fare detta verifica solo per sezioni di forma rettangolare)
- miglioramenti nel disegno della sezione, con indicazione anche dell'eventuale asse neutro e della porzione di sezione compressa
- diagramma delle tensioni tangenziali $\tau_{xz} = \tau_{xz}(z)$, nel caso di calcolo alle tensioni ammissibili

Versione 7.0

- verifica agli **Stati Limite di Esercizio** (*Verifica di fessurazione, Verifica alle tensioni di esercizio, Verifica di deformazione*)
- calcolo delle **sezioni in cemento armato precompresso**
- semplificazione dell'input e dell'output nel caso di sollecitazioni piane

Versione 8.0

- **aggiornamento alle NTC 2018**
- **verifiche di duttilità** mediante la costruzione del **diagramma momenti-curvatura calcestruzzo confinato**
- **Relazione di calcolo** in formato .doc modificabile
- modifiche interfaccia utente
- possibilità di inserire pacchetti di armature nelle sezioni ad input semplificato

Versione 9.0

- **nuova formattazione** risultati
- correzione bugs non sostanziali
- **rapporto armatura μ** nel calcolo di progetto
- **calcestruzzo fibrorinforzato (FRC)**
- rinforzi in strutture esistenti con **compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP)**
- rinforzi in strutture esistenti con **camicie di acciaio e metodo CAM**
- rinforzi in strutture esistenti con **camicie in c.a.**
- **Manuale di Validazione**

APPENDICE 2 - Esempi svolti

Nel documento di Validazione che correda il software vengono effettuati dei confronti tra i risultati ottenuti con il software *SezioniCA.Az* e quelli ottenuti manualmente e/o riscontrabili in letteratura tecnica e/o utilizzando altri software di comprovata affidabilità. La taratura dei vari algoritmi di calcolo implementati nel software, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale ed è espressamente prevista dalle NTC di cui al D.M. 14/01/2008 e D.M. 17/01/2018 (capitolo 10).

Nel seguito sono riportati altri esempi al fine di dare ulteriori indicazioni sull'uso del software.

N. 1 – VERIFICA SEZIONE RETTANGOLARE A FLESSIONE RETTA METODO TENS. AMMISSIBILI

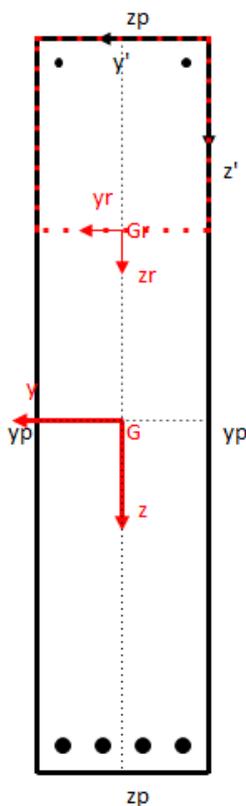
Verificare, con il metodo delle tensioni ammissibili, la sezione rettangolare 20x80 cm, risolta in [1] a pag. 108, armata al lembo inferiore con 4 ϕ 16, al lembo superiore con 2 ϕ 8 e sollecitata da un momento flettente positivo $M_y=9400$ kgm. Il copriferro è di 2,2 cm e il coeff. omogeneizzazione $n=10$.

Come materiali scegliamo $R_{ck}=250$ kg/cm² e acciaio Fe B 38 k. Data la forma della sezione e la posizione delle armature, la sezione può essere risolta utilizzando la forma *Rettangolare* (DATI GENERALI).

Inseriti i dati e lanciando il calcolo si ottengono, tra gli altri, i seguenti risultati:

- altezza zona compressa = 20,82 cm
- tensione massima di compressione nel cls = -61,7 kg/cmq
- tensione massima nelle armature = 1664,1 kg/cmq

I risultati **corrispondono esattamente** con quelli ottenuti nel testo citato per via analitica.



Da notare nella figura accanto, ottenuta con il software: il baricentro G della sezione omogeneizzata, gli assi principali di inerzia y_p e z_p , il baricentro G_r della sezione reagente (cls compresso e armature), la zona compressa della sezione (poligono puntinato di colore rosso), la posizione dell'asse neutro (che è baricentrico della sezione reagente nella sollecitazione di flessione semplice).

Si fa infine osservare che la stessa sezione poteva essere risolta con la forma geometrica **Generica** (n° poligonal=1), inserendo le coordinate dei quattro vertici rispetto ad un generico sistema di riferimento utente $y'z'$ orientato come in figura (l'origine può essere scelta in un punto qualunque; qui si è scelto il

vertice della sezione in alto a destra) e inserendo i seguenti dati per i due pacchetti di armatura:

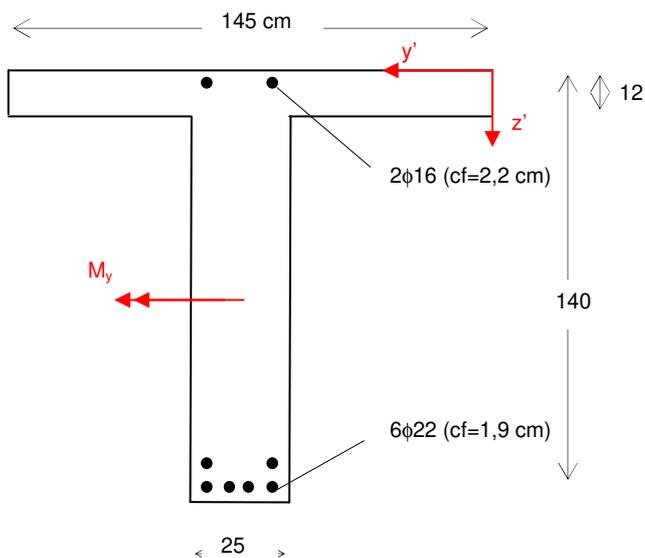
Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)
1	2,6	2,6	17,4	2,6	2	8
2	3	77	17	77	4	16

Da notare che del valore del copriferro se ne tiene conto quando si inseriscono le coordinate dei baricentri dei tondini di inizio e di fine del pacchetto di armatura.

N° 2 – VERIFICA SEZIONE A T A FLESSIONE RETTA METODO TENS. AMMISSIBILI

Verificare la sezione a T indicata sotto, risolta in [1] a pag. 110, sollecitata da un momento flettente positivo $M_y=52.000$ kgm. Il copriferro è di 2,2 cm per le barre superiori e 1,9 cm per le barre inferiori. Il coeff. omogeneizzazione è $n=10$.

Come materiali scegliamo $R_{ck}=250$ kg/cm² e acciaio Fe B 38 k. Dato che il copriferro ha valore differente ai due lembi è necessario utilizzare la forma *Generica* (DATI GENERALI).



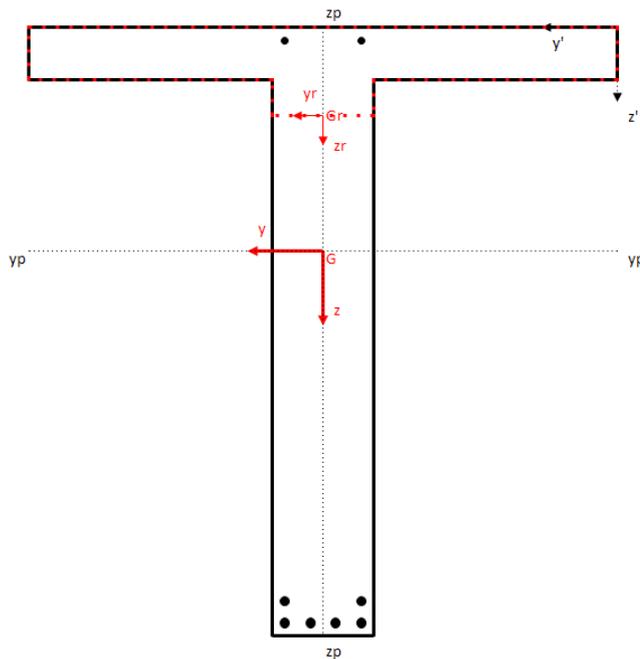
Assunto il sistema di riferimento utente $y'z'$ nel vertice all'estremo in alto a destra, si determinano le coordinate degli otto vertici che definiscono la sezione, procedendo in senso orario:

vert.	y' (cm)	z' (cm)
1	0	0
2	0	12
3	60	12
4	60	140
5	85	140
6	85	12

7	145	12
8	145	0

Ricaviamo i dati dei tre pacchetti di armatura disposti orizzontalmente:

Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)
1	63	3	82	3	2	16
2	63	132	82	132	2	22
3	63	137	82	137	4	22



Inseriamo tutti i dati nel software e lanciamo il calcolo. Si ottengono, tra l'altro, i seguenti risultati:

- altezza zona compressa = 20,21 cm (nel testo citato 21 cm);
- tensione massima di compressione nel cls = -30,8 kg/cm² (-32)
- tensione massima nelle armature = 1779,5 kg/cm² (1752).

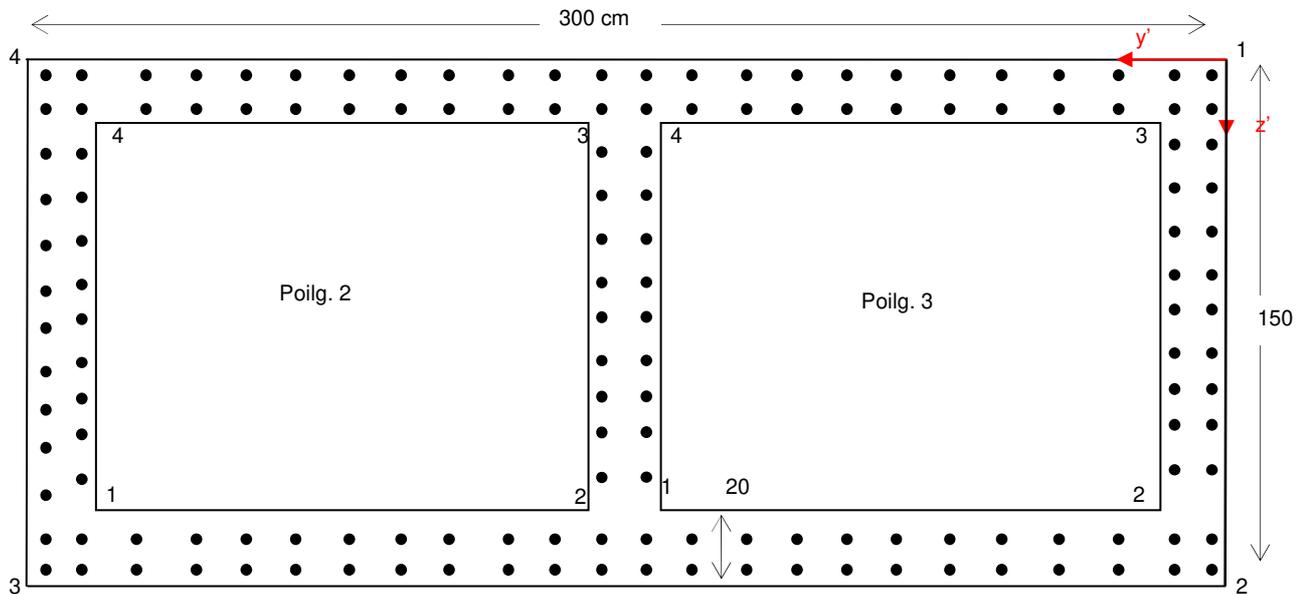
I risultati sono praticamente corrispondenti a quelli ottenuti

nel testo citato.

N° 3 – VERIFICA SEZIONE SCATOLARE (PLURICONNESSA) A PRESSO-FLESSIONE DEVIATA METODO TENS. AMMISSIBILI

Verificare la pila da ponte indicata sotto (spessore pareti 20 cm), simmetrica, sollecitata da uno sforzo normale di compressione $N_x = -50.000$ kg e dai momenti flettenti $M_y = -200.000$ kgm e $M_z = 80.000$ kgm.

I tondini hanno tutti diametro 20 mm e sono equidistanti tra loro, il copriferro è di 2 cm e il coeff. omogeneizzazione $n=15$. Come materiali scegliamo $R_{ck}=250$ kg/cm² e acciaio Fe B 38 k. Data la forma della sezione è necessario utilizzare la forma *Generica* (DATI GENERALI) con numero di poligoni pari a 3.



Assunto il sistema di riferimento utente $y'z'$ nel vertice all'estremo in alto a destra, si determinano le coordinate dei quattro vertici di ciascuna delle tre poligonali che descrivono la sezione: i vertici della poligonale esterna si devono inserire in senso orario, quelli delle due poligonali interne in senso antiorario.

vert.	Poligonale 1 (esterna)		Poligonale 2 (interna)		Poligonale 3 (interna)	
	y' (cm)	z' (cm)	y' (cm)	z' (cm)	y' (cm)	z' (cm)
1	0	0	280	130	140	130
2	0	150	160	130	20	130
3	300	150	160	20	20	20
4	300	0	280	20	140	20

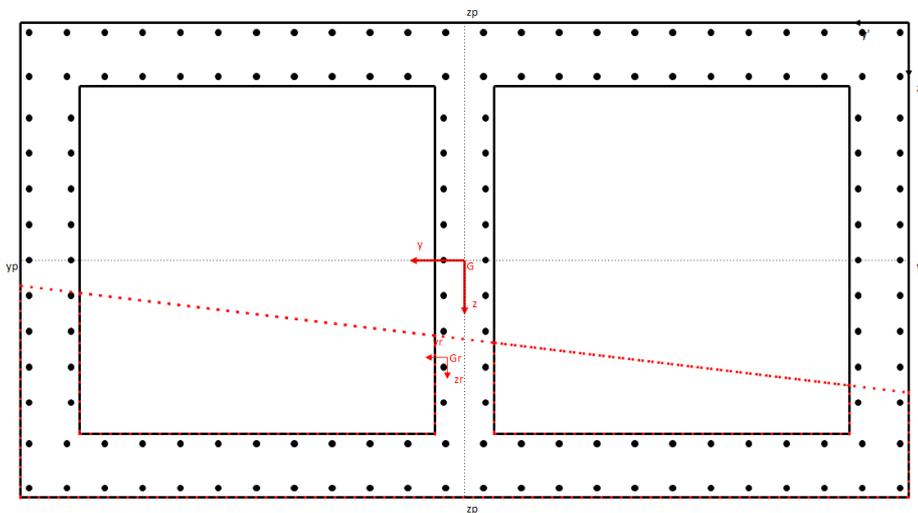
Ricaviamo i dati dei dieci pacchetti di armatura:

Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)
1	3	3	297	3	24	20
2	3	17	297	17	24	20
3	3	133	297	133	24	20
4	3	147	297	147	24	20
5	3	30	3	120	9	20
6	17	30	17	120	9	20
7	143	30	143	120	9	20
8	157	30	157	120	9	20
9	283	30	283	120	9	20
10	297	30	297	120	9	20

Inseriamo tutti i dati nel software e lanciamo il calcolo. Si ottengono, tra l'altro, i seguenti risultati:

- tensione massima di compressione nel cls = -34,6 kg/cmq

- tensione massima nelle armature = 880,2 kg/cmq



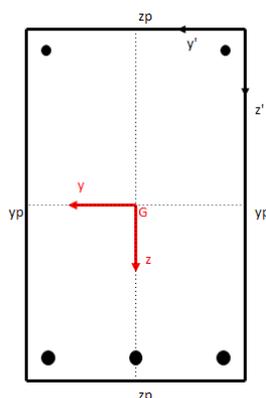
La zona compressa del cls è in basso. In figura è indicata la posizione dell'asse neutro.

N° 4 – CALCOLO MOMENTO ULTIMO ALLO SLU SEZIONE RETTANGOLARE

Si calcoli il momento resistente (o ultimo) a flessione retta valutato attorno a y di una sezione rettangolare 30x45 cm, per momenti flettenti positivi (che tendono cioè le fibre inferiori della trave), armata con 3 ϕ 18 al lembo inferiore e con 2 ϕ 12 al lembo superiore (copriferro 2,1 cm), assumendo che i materiali impiegati abbiano le seguenti caratteristiche:

cls: $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 13,23 \text{ N/mm}^2$

acciaio: B450C $f_{yd} = 374 \text{ N/mm}^2$



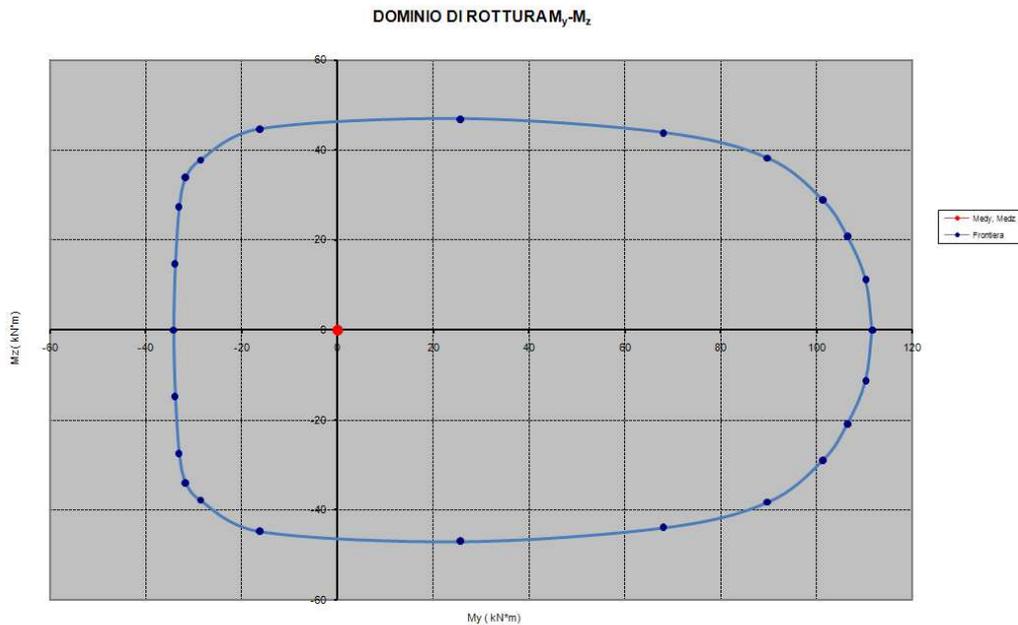
Per fare ciò occorre, in DATI GENERALI, scegliere:

- Calcolo di verifica
- Normativa di riferimento: DM 14/01/2008 (SLU)
- Sistema Internazionale (per le unità di misura)
- Forma sezione: Rettangolare
- Tipo di sollecitazione: piana o spaziale (nel 1° caso si ottiene il dominio M_y-N_x nel 2° il dominio M_y-M_z ; il valore cercato coincide nei due casi).

In MATERIALI scegliere il valore di R_{ck} , il tipo di acciaio, il diagramma parabola-rettangolo per il cls e il diagramma elastico-perfettamente plastico per l'acciaio. Premendo su "Calcola parametri" vengono visualizzati i parametri relativi ai materiali prescelti sulla base delle formule riportate nella normativa di riferimento. Come si potrà notare i valori di f_{cd} e f_{yd} , che dipendono anche dai coefficienti parziali di sicurezza, possono non corrispondere ai valori di input di cui sopra; in questo caso basta semplicemente modificare il dato fornito in automatico inserendo il valore voluto.

Nel menù SEZIONE inserire le dimensioni geometriche della sezione (B=30, H=45 cm) e le armature. Trattandosi di calcolo del momento ultimo, per le caratteristiche di sollecitazione non occorre inserire alcun dato.

Premendo su CALCOLA si ottiene, tra l'altro, il Momento resistente a flessione retta valutato attorno a y $M_{Ry} = 112,1$ kNm. Tale valore può leggersi anche direttamente sul dominio di rottura M_y - M_z .



Si osservi che con il metodo alle tensioni ammissibili (scegliendo l'acciaio Fe B44 k, equivalente al B450C), il momento flettente massimo che la sezione può sopportare (momento resistente) è 73,2 kNm (ottenuto per tentativi): quindi tra la sollecitazione ultima e quella di esercizio si ha il rapporto $111,6/73,2 = 1,52$, molto vicino al valore 1,5 del coefficiente di sicurezza dei carichi.

N° 5 - PROGETTO ALLO S.L.U. SEZIONE RETTANGOLARE SOGGETTA A FLESSIONE RETTA

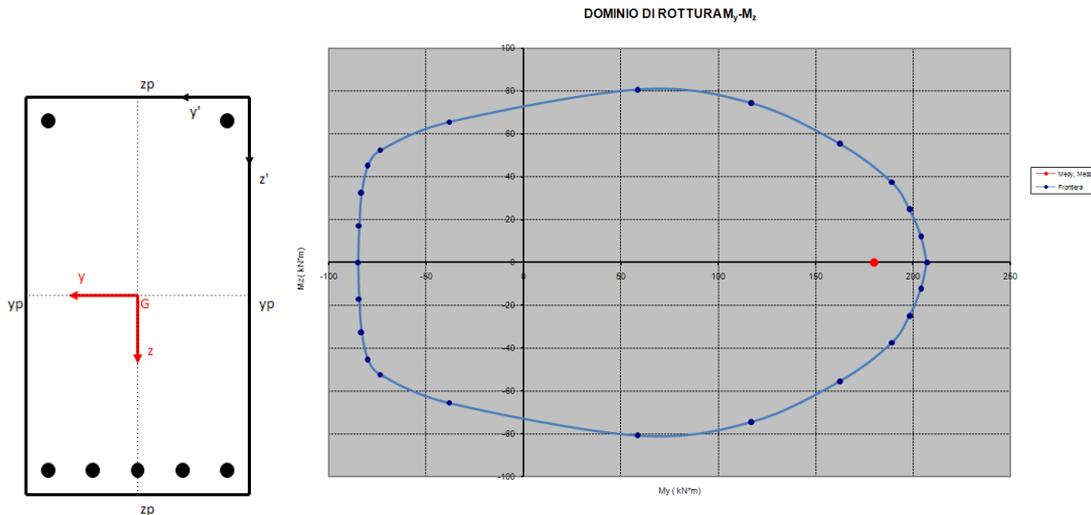
Si progetti allo S.L.U. (NTC 2018) l'armatura per una sezione rettangolare 30x50 cm (trave a comportamento non dissipativo), soggetta ad un momento flettente positivo di progetto $M_y = 180$ kNm, adottando per i tondini il diametro $\phi 18$, il copriferro di 2,1 cm e assumendo che i materiali impiegati abbiano le seguenti caratteristiche:

$$\text{cls: } R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = 13,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{acciaio: B450C} \quad f_{yd} = 374 \text{ N/mm}^2 \quad \epsilon_{su} = 1\%$$

Si assume un rapporto armatura $\mu = 0,25$, l'interasse massimo tra le barre 50 cm e lo spazio minimo tra due tondini 2 cm.

L'armatura che si ottiene con il software è qui rappresentata:



N° 6 - CALCOLO MOMENTO ULTIMO SEZIONE RETTANGOLARE

Si calcoli il momento ultimo (NTC 2008) di una sezione rettangolare 30x50 cm (trave), con doppia armatura simmetrica $3\phi 20$ (copriferro 2 cm), assumendo che i materiali impiegati abbiano le seguenti caratteristiche:

$$\text{cls: } R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = 13,23 \text{ N/mm}^2$$

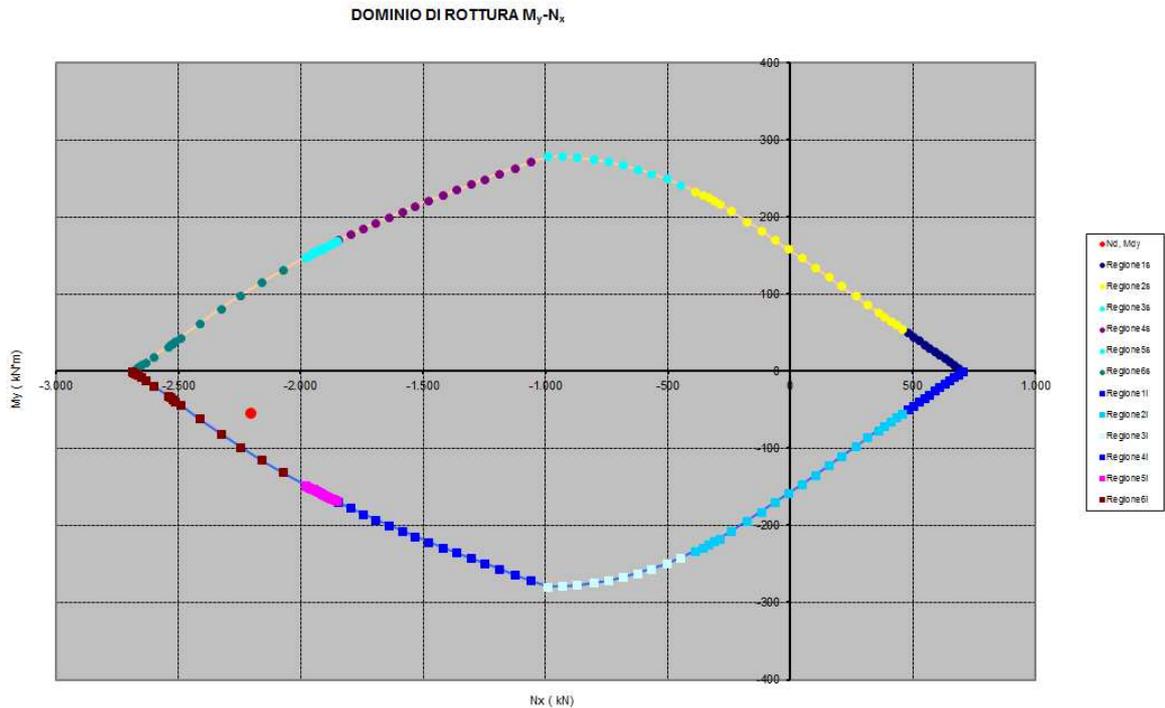
$$\text{acciaio: B450C} \quad f_{yd} = 374 \text{ N/mm}^2 \quad \epsilon_{su} = 1\%$$

e considerando cinque valori dello sforzo normale: $N_x = -2200; -1500; -800; -100; 500$ kN (si ricorda che sono negativi gli sforzi di compressione).

I risultati ottenuti sono i seguenti (legge costitutiva del cls: stress-block).

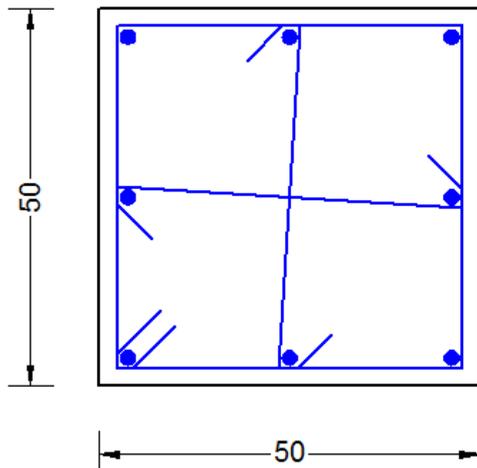
- 1) per $N_x = -2.200$ kN si ottiene $M_{Ry} = 107,5$ kNm;
- 2) per $N_x = -1.500$ kN si ottiene $M_{Ry} = 218,9$ kNm;
- 3) per $N_x = -800$ kN si ottiene $M_{Ry} = 274,5$ kNm;
- 4) per $N_x = -100$ kN si ottiene $M_{Ry} = 177,9$ kNm;
- 5) per $N_x = 500$ kN si ottiene $M_{Ry} = 45$ kNm.

Qui sotto è riportato il dominio di rottura M_y-N_x relativo alla sezione in esame. Su tale dominio può leggersi graficamente il valore del momento resistente tracciando la verticale passante per il punto rosso (che rappresenta le sollecitazione di progetto), fino ad intersecare la frontiera del dominio. Sull'asse delle ordinate si legge il momento ultimo o resistente.



N° 7 – DUTTILITA' SEZIONE E CALCESTRUZZO CONFINATO

Si data la seguente sezione quadrata di incastro allo spiccato di fondazione di un pilastro prefabbricato in c.a. ordinario appartenente ad una struttura in classe di duttilità media (CD" B") soggetta ad uno sforzo normale di progetto $N_{Ed} = -1.000$ kN (compressione).



copriferro=2,8 cm

Clc classe C25/30 ($R_{ck}=30$ N/mm²)

Acciaio B450C $\epsilon_{su}=6,75\%$

Armatura longitudinale = 8 ϕ 20

Staffe e legature ϕ 8 con passo 10 cm e numero delle braccia in direzione y e in direzione z è pari a 3

Effettuare la verifica a duttilità (NTC 2018) costruendo il diagramma momenti-curvature e verificare il rispetto della condizione 7.4.29 NTC (dettagli costruttivi dei pilastri per la duttilità). Si suppone che la domanda di duttilità di curvatura sia pari a $\mu_\phi=8,16$ (ottenuta con la formula 7.4.3. NTC per $q_0=3,9$ e $T_1 \geq T_C$).

Inseriamo i dati nel software. Nel pannello MATERIALI dobbiamo spuntare la voce "calcestruzzo confinato". Essendo presente armatura longitudinale anche nei lembi laterali della sezione, nel pannello SEZIONE occorre procedere inserendo n. 4

pacchetti di armatura. È opportuno, al fine di evitare errori nel calcolo dei coefficienti di confinamento del cls, procedere inserendo le armature seguendo il senso orario o antiorario. Procedendo in senso antiorario si ha:

Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)
1	3,8	3,8	46,2	3,8	3	20
2	46,2	25	46,2	25	1	20
3	46,2	46,2	3,8	46,2	3	20
4	3,8	25	3,8	25	1	20

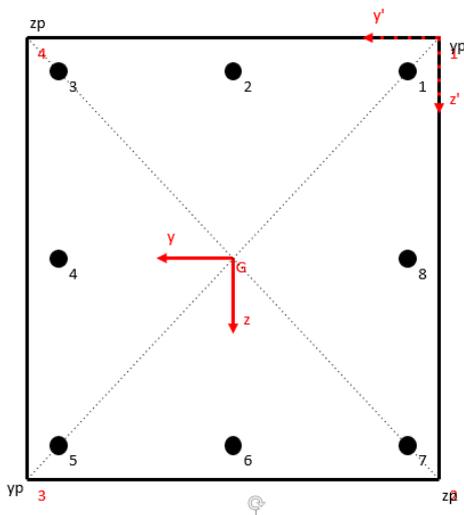
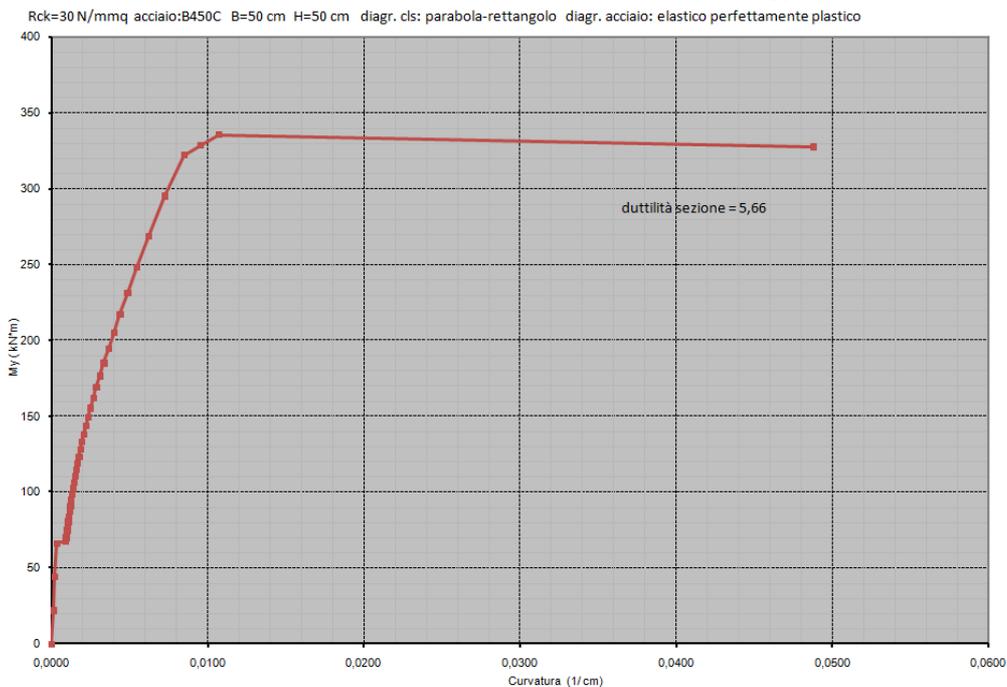


DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA SEZIONE C.A. (sezione Rettangolare soggetta a $N_x = -1000$ kN)



Il valore della duttilità della sezione è quindi pari a 5,66, inferiore alla domanda.

Per quanto riguarda la verifica dei dettagli costruttivi per la duttilità dei pilastri occorre verificare che sia soddisfatta la formula 7.4.29 delle NTC:

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

Il software fornisce i seguenti risultati sui parametri necessari:

$\alpha=0,559$ $\omega_{wd}=0,185$ $\nu_d=0,283$ $\varepsilon_{sy,d}=0,186\%=0,00186$ $b_c=50$ cm $b_0=45,2$ cm

Sostituendo si ha: 1° membro=0,103415; 2° membro= 0,06387

La verifica dei dettagli costruttivi per la duttilità dei pilastri è quindi soddisfatta.

N° 8 – DUTTILITA' SEZIONE E CALCESTRUZZO CONFINATO

Si data la seguente sezione di un pilastro (40x40 cm) in c.a. ordinario soggetta ad uno sforzo normale di progetto $N_{Ed}=-336$ kN.

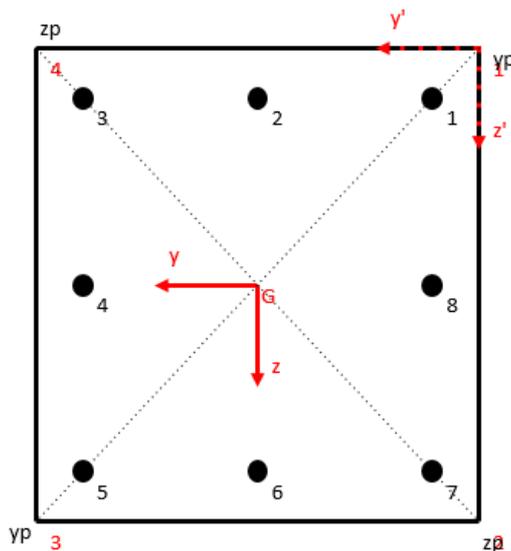
copriferro=3,3 cm

Cls classe C25/30 – diagramma parabola rettangolo

Acciaio B450C $\varepsilon_{su}=6,75\%$

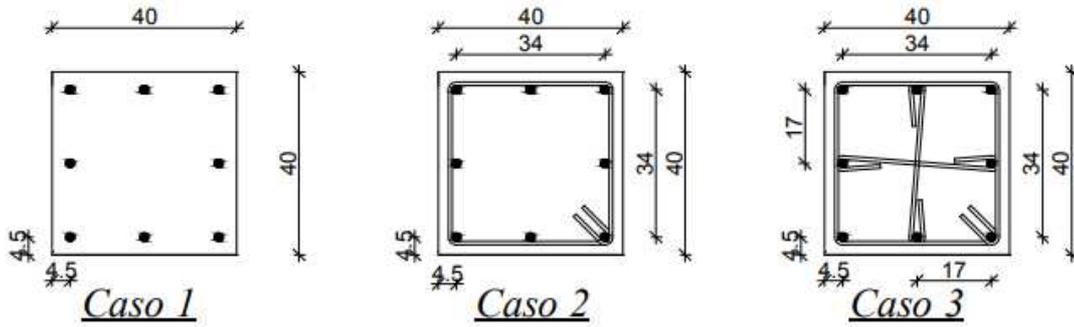
Armatura longitudinale = 8 ϕ 18

Staffe e legature ϕ 8 con passo 8 cm



Effettuare la verifica a duttilità (NTC 2018) costruendo il diagramma momenti-curvature nei seguenti tre casi:

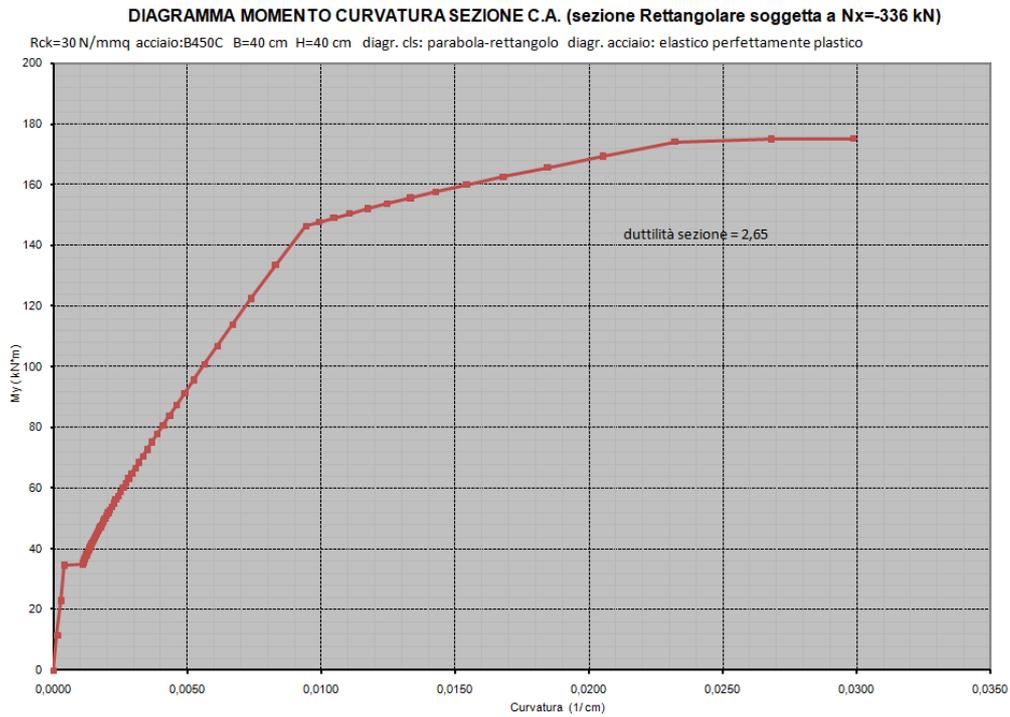
- 1) assenza di staffe
- 2) presenza di staffe con due braccia
- 3) presenza di staffe e legature intermedie (equivale ad assumere tre braccia per le staffe)



Procedendo come nell'esempio precedente si ha:

Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)
1	4,2	4,2	35,8	4,2	3	18
2	35,8	20	35,8	20	1	18
3	35,8	35,8	4,2	35,8	3	18
4	4,2	20	4,2	20	1	18

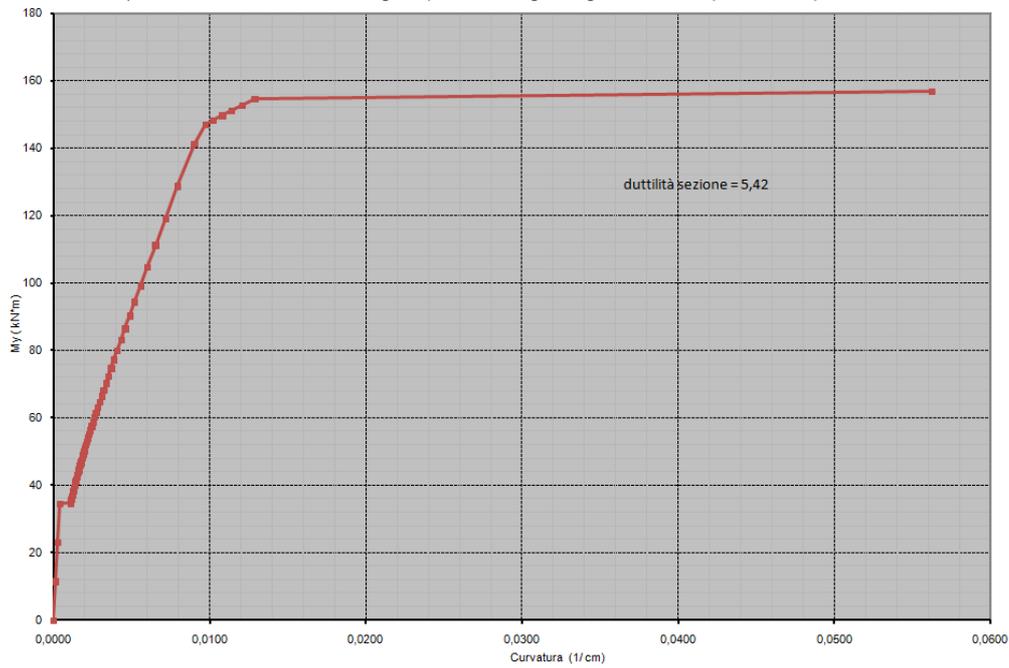
Caso 1:



Caso 2:

DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA SEZIONE C.A. (sezione Rettangolare soggetta a $N_x=-336$ kN)

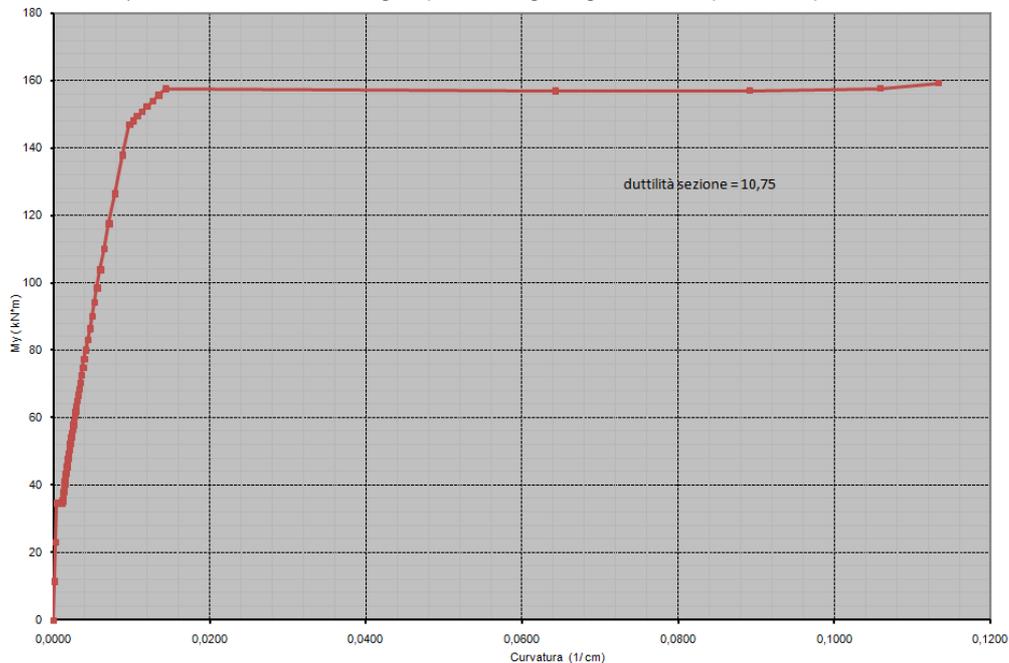
Rck=30 N/mm² acciaio:B450C B=40 cm H=40 cm diagr. cls: parabola-rettangolo diagr. acciaio: elastico perfettamente plastico



Caso 3:

DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA SEZIONE C.A. (sezione Rettangolare soggetta a $N_x=-336$ kN)

Rck=30 N/mm² acciaio:B450C B=40 cm H=40 cm diagr. cls: parabola-rettangolo diagr. acciaio: elastico perfettamente plastico



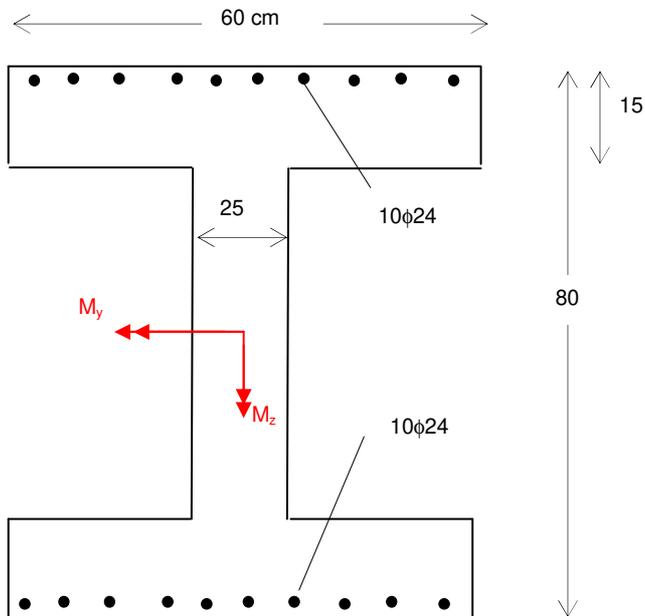
N° 9 – VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE A T SOGGETTA A PRESSO-FLESSIONE DEVIATA

Si verifichi allo S.L.U. con le NTC 2008 la seguente sezione a doppio T soggetta alle seguenti sollecitazioni (pressoflessione deviata):

$$N_x = -15.000 \text{ kg};$$

$$M_y = 50.000 \text{ kgm};$$

$$M_z = 45.000 \text{ kgm}$$



I materiali impiegati sono i seguenti:

cls: $R_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2$ legge costitutiva parabola-rettangolo

acciaio: B450C $\epsilon_{su}=1\%$ legge costitutiva elastica-perfettamente plastica

Il copriferro è pari a 3 cm.

A calcolo eseguito si ottengono, tra gli altri, i seguenti risultati:

VERIFICA ALLO S.L.U. PER SFORZO NORMALE E/O MOMENTI FLETTENTI (tensioni normali)

sforzo normale di progetto $N_{ed} = N_x = -15000 \text{ kg}$

momento flettente di progetto $M_{edy} = 50000 \text{ kg}^*\text{m}$

momento flettente di progetto $M_{edz} = 45000 \text{ kg}^*\text{m}$

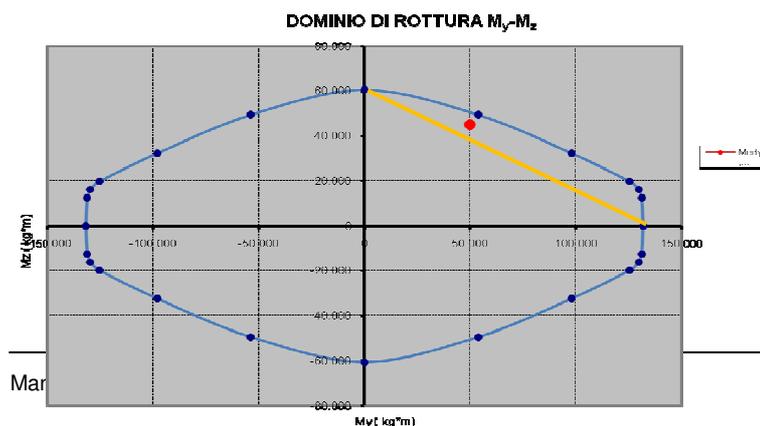
sforzo normale massimo di trazione sopportabile dalla sezione = 354043,5 kg

sforzo normale massimo di compressione sopportabile dalla sezione = -712662,5 kg

momento resistente a presso/tenso-flessione retta corrisp.nte a N_{ed} valutato attorno a y $M_{Ry} = 131726,5 \text{ kg}^*\text{m}$

momento resistente a presso/tenso-flessione retta corrisp.nte a N_{ed} valutato attorno a z $M_{Rz} = 60550,5 \text{ kg}^*\text{m}$

essendo il punto rappresentativo delle sollecitazioni di progetto non esterno al dominio di rottura M_y-M_z ($M_{zu_i} \leq M_{edz} \leq M_{zu_s}$), costruito per $N_{xu} = N_{ed}$, la verifica è soddisfatta



SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 48 di 58
---	----------------------	---------------

È opportuno far notare che se applicassimo la formula 4.1.10 delle NTC con $\alpha=1^7$, la verifica di resistenza non sarebbe soddisfatta:

$$50.000/131.726,5+45.000/60.550,5=1,12 >1$$

Si vede quindi come il software, applicando il metodo esatto, evita che si dimensionino eccessivamente le sezioni in conseguenza dell'applicazione di formule approssimate presenti in letteratura tecnica e recepite anche dalla normativa vigente.

N° 10 – VERIFICA ALLO S.L.E. DI DEFORMAZIONE

Si consideri una trave doppiamente appoggiata, di luce $L=6$ m, soggetta ad un carico uniformemente ripartito $q = 4.000$ kg/m. La sezione della trave è rettangolare 25×70 cm, armata al lembo inferiore con $4\phi 20$. Il copriferro è 2 cm.

I materiali sono cls $R_{ck}=250$ kg/cm² e acciaio B450C.

Si vuole calcolare la freccia istantanea ($t=0$) in mezzeria (NTC 2008).

Si utilizza il metodo di integrazione delle curvature (metodo del calcolo degli spostamenti derivante dal Principio dei Lavori Virtuali):

$$1 \cdot f = \int_s \frac{1}{R} \cdot M' \cdot ds$$

dove s è l'intera struttura, $1/R$ è la curvatura nella generica sezione ed M' è il momento nella stessa generica sezione dovuto alla forza unitaria applicata nella sezione in cui si valuta la freccia f .

Adottando il metodo di integrazione numerica dei rettangoli si ha:

$$f = \int_s \frac{1}{R} \cdot M' \cdot ds = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} \cdot M'_i \cdot \Delta x$$

in cui N è il numero di parti uguali in cui pensa divisa la trave, $\Delta x=L/N$ è la lunghezza di ogni concio di trave, $1/R_i$ e M'_i sono i valori assunti dalla curvatura e dal momento flettente M' in corrispondenza del punto medio del concio (il punto medio ha ascissa $x_i=\Delta x/2+\Delta x(i-1)$ con $i=1,2, \dots,N$). Si sceglie $N=5$ a cui corrisponde $\Delta x=120$ cm.

Il momento M' , nel caso in esame di trave appoggiata agli estremi e forza unitaria verticale applicata nella sezione di ascissa x_f (qui $x_f=L/2$) è dato da:

$$M'(x) = V_A \cdot x \quad \text{per } 0 \leq x \leq x_f \quad \text{con } V_A = \frac{L - x_f}{L} \text{ reazione vincolare}$$

$$M'(x) = V_A \cdot x - (x - x_f) \quad \text{per } x_f \leq x \leq L$$

Il momento M dovuto al carico esterno q è dato da:

⁷ La formula 4.1.10 con $\alpha=1$ è rappresentata, nel dominio di rottura M_y - M_z , dalla retta che passa per i punti di coordinate $(M_{Ry},0)$ e $(0, M_{Rz})$.

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 49 di 58
---	----------------------	---------------

$$M(x) = q \cdot \frac{L}{2} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2}$$

I dati, calcolati con le formule viste, vengono qui di seguito tabellati:

concio	x _i (cm)	M' (kg*cm)	M (kg*cm)	1/R (1/cm)	1/R · M' · Δx
1	60,00	30,00	648.000,00	3,0587-06	0,011
2	180,00	90,00	1.512.000,00	0,0000100118	0,108
3	300,00	150,00	1.800.000,00	0,0000121456	0,2186
4	420,00	90,00	1.512.000,00	0,0000100118	0,108
5	540,00	30,00	648.000,00	3,0587-06	0,011
f (cm)					0,4566

I valori della curvatura 1/R sono stati ottenuti con il software *SezioniCA.Az* inserendo i dati relativi alla sezione, ai materiali e i vari momenti flettenti M agenti (nel campo M_y relativo alla combinazione quasi permanente). Nel menù VERIF S.L.E. occorre scegliere, volendo calcolare la freccia istantanea, l'opzione carichi di breve durata.

La freccia cercata vale quindi **0,4566 cm**. Da notare che la freccia calcolata con la formula relativa alle travi in materiale omogeneo ed elastico-lineare (resistente a trazione) vale, come noto:

$$f = \frac{5}{384} \cdot q \cdot \frac{L^4}{E \cdot I} = 0,308 \text{ cm}$$

Per valutare la freccia a tempo infinito occorre scegliere l'opzione "carichi di lunga durata" ed abbattere il modulo elastico del cls tenendo conto del coefficiente di fluage φ del cls (fornito dalla normativa o valutato sperimentalmente):

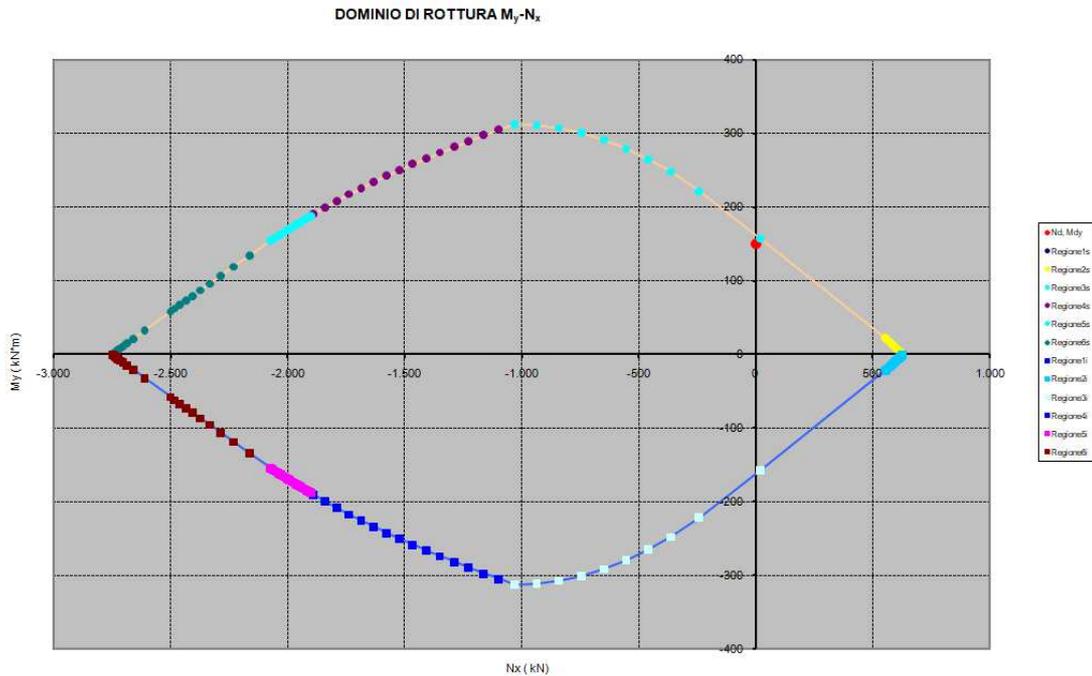
$$E_{c,eff} = \frac{E_c}{1 + \varphi}$$

N° 11 - VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE FIBRORINFORZATA (FRC)

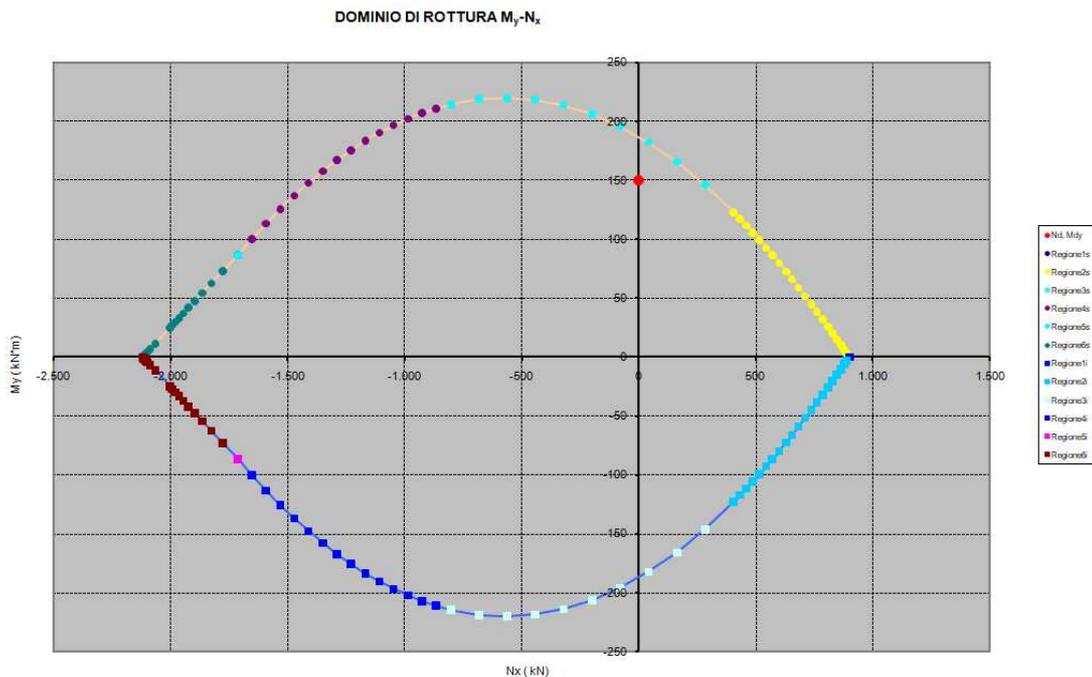
Si verifichi allo S.L.U. (NTC 2018) una sezione rettangolare di una trave 30x60 cm, soggetta ad un momento flettente positivo di progetto M_y=150 kNm, realizzata con calcestruzzo fibrorinforzato (FRC). L'armatura superiore e inferiore è costituita da 4φ16, il copriferro è di 3,0 cm e i materiali impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

- cls: C20/25, R_{ck} = 25 N/mm² diagramma parabola-rettangolo
- cls con fibre (FRC): diagramma rigido plastico con resistenza di progetto a trazione residua ultima f_{Ftu}=5 N/mm²
- acciaio: B450C

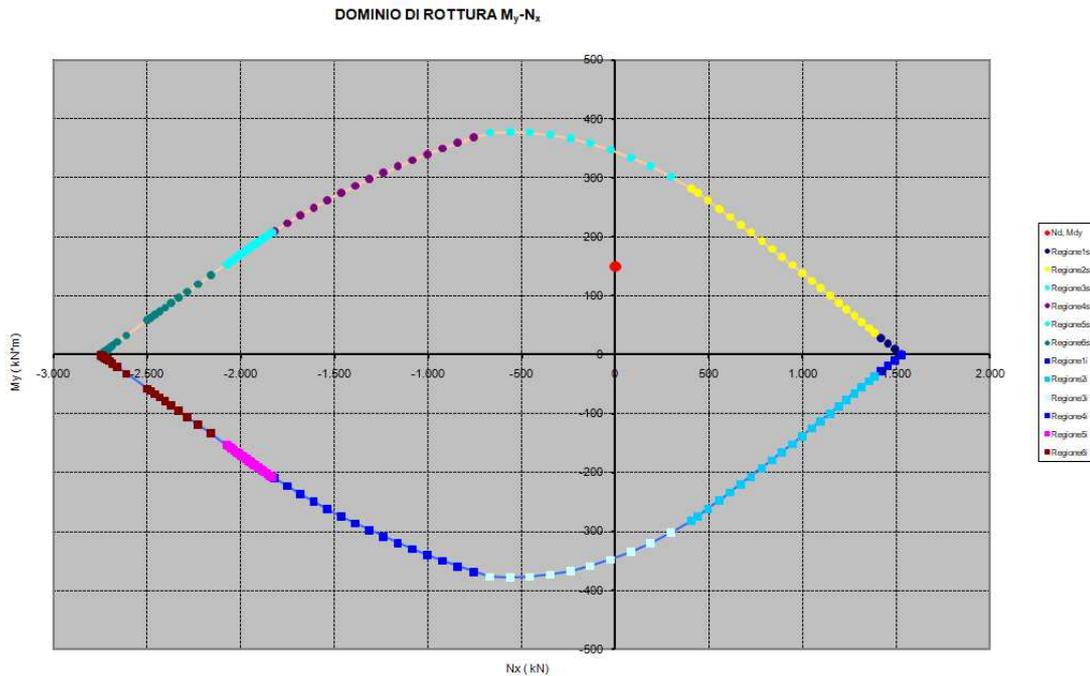
La sezione calcolata senza rinforzo di fibre risulta verifica e ha un momento resistente di $M_{Rd}=162,4$ kNm:



La stessa sezione con calcestruzzo fibrorinforzato in assenza di armatura ha momento resistente di $M_{Rd}=186,9$ kNm, ovvero un momento resistente maggiore di quello del cls senza fibre e con armatura:



Infine, la sezione con armatura e cls fibrorinforzato ha un momento resistente di $M_{Rd}=345,70$ kNm, ovvero quasi il doppio della sezione senza fibre:



Da ciò si evince quanto migliori la resistenza delle membrature con il rinforzo di fibre (FRC materiale innovativo).

N° 12 - VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE RINFORZATA A FLESSIONE CON COMPOSITO A MATRICE POLIMERICA FRP

Si verifichi allo S.L.U. (NTC 2018) una sezione rettangolare di una trave esistente 30x50 cm, soggetta, a seguito di un cambio di destinazione d'uso dell'edificio a cui appartiene, ad un momento flettente positivo di progetto $M_y=182$ kNm, armata superiormente con $2\phi 16$ e inferiormente con $7\phi 16$. Il copriferro è di 3,0 cm e i materiali hanno le seguenti caratteristiche:

- cls: $R_{ck} = 20$ N/mm² $f_{cm}=20$ N/mm² $\gamma_c=1$ fattore di confidenza $FC=1,35$

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC} = 14,81 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ck}=12,00 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctm}=1,57 \text{ N/mm}^2$$

- acciaio: Fe B 38 k $f_{ym}=380$ N/mm² $\gamma_s=1,0$ fattore di confidenza $FC=1,35$,

$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{\gamma_s \cdot FC} = 281,48 \text{ N/mm}^2$$

- coefficiente di omogeneizzazione $n = \frac{E_s}{E_c} = 7,29$

Per il calcolo di verifica si assume il diagramma parabola-rettangolo per il cls e il diagramma elastico-perfettamente plastico per l'acciaio.

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 52 di 58
---	----------------------	---------------

La sezione calcolata senza rinforzo ha un momento resistente di $M_{Rd}=169,1$ kNm e pertanto non risulta verificata. La deformazione al lembo teso della sezione è pari a 0,1656%.

Si decide di intervenire utilizzando un rinforzo con strati sovrapposti di CFRP. I singoli strati sono ottenuti incollando (composito impregnato in situ) un tessuto unidirezionale avente le seguenti caratteristiche geometriche e meccaniche:

- spessore dello strato (equivalente): $t_{f,1}=0,167$ mm=0,0167 cm
- larghezza dello strato (equivalente): $b_f=24$ cm
- modulo di elasticità longitudinale: $E_f=270.000$ N/mm²
- tensione o resistenza caratteristica: $f_{pk}=2.700$ N/mm²

Assumiamo per i coefficienti parziali per gli SLU e per il distacco dal supporto, rispettivamente, i valori 1,1 e 1,2. Il fattore di conversione ambientale viene assunto pari a 0,85.

Il valore della deformazione di rottura a progetto, calcolata dal software nel pannello

dei materiali, è pari a $\varepsilon_{pu} = \frac{\eta_a}{\gamma_p} \cdot \frac{f_{pk}}{E_p} = \frac{0,85}{1,1} \cdot \frac{2700}{270000} = 0,77\%$.

Si procede considerando un solo strato di CFRP e si calcola il momento resistente della sezione rinforzata. Si ottiene $M_{Rd}=188,4$ kNm (incremento del 11,4% del momento resistente) e quindi basta un solo strato per ottenere la verifica positiva a flessione.

La verifica a distacco dal supporto all'estremità (modo 1) è anch'essa soddisfatta poiché la tensione normale nel composito, ottenuto moltiplicando la deformazione al lembo teso 0,1656% per il modulo elastico longitudinale del composito:

$$\sigma_p = \varepsilon_p \cdot E_p = 0,001656 \cdot 270000 = 447,12 \text{ N/mm}^2$$

risulta minore di $f_{fdd}=587,25$ N/mm² restituita dal software.

N° 13 - VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE RINFORZATA A TAGLIO CON COMPOSITO A MATRICE POLIMERICA FRP

Con riferimento alla sezione di cui all'esempio n. 11, effettuare anche la verifica a taglio con un taglio di progetto di $T_z=280$ kN. Il cls e l'acciaio hanno le stesse caratteristiche dell'esempio precedente.

L'armatura a taglio è costituita da staffe verticali a due braccia, diametro 8 mm, passo 10 cm. L'angolo θ di inclinazione delle fessure si assume pari a 45°.

La sezione calcolata senza rinforzo FRP ha una resistenza taglio lungo z pari $V_{Rd,z}=117,7$ kN e pertanto non risulta verificata.

Si decide di intervenire utilizzando un rinforzo a taglio del tipo a U sovrapponendo strati di tessuto unidirezionali di CFRP (composito impregnato in situ, di tipo discontinuo) delle seguenti caratteristiche geometriche e meccaniche:

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 53 di 58
---	----------------------	---------------

- spessore dello strato (equivalente): $t_{f,1}=0,167 \text{ mm}=0,0167 \text{ cm}$
- larghezza striscia: $b_f=15 \text{ cm}$
- passo delle strisce: $p_f=15 \text{ cm}$
- % di altezza della trave impegnata dal rinforzo: 80%
- angolo di inclinazione delle fibre di rinforzo rispetto all'asse della trave: 45°
- raggio curvatura negli spigoli della sezione: 2 cm
- modulo di elasticità longitudinale: $E_f=270.000 \text{ N/mm}^2$
- tensione o resistenza caratteristica: $f_{pk}=2.700 \text{ N/mm}^2$

Assumiamo per i coefficienti parziali per gli SLU e per il distacco dal supporto, rispettivamente, i valori 1,1 e 1,2. Il fattore di conversione ambientale viene assunto pari a 0,85.

Si procede considerando un solo strato di CFRP calcolando la resistenza a taglio della sezione rinforzata. Si ottiene $V_{Rd,z}=237,6 \text{ kN}$, con un incremento del 101,9% della resistenza a taglio, ma la sezione risulta ancora non verificata. Aumentiamo a due il numero degli strati (spessore strisce $t_f=2 \times 0,167 \text{ mm}=0,334 \text{ mm}$) e otteniamo $V_{Rd,z}=287,2 \text{ kN}$ per cui con due strati la sezione risulta verificata.

N° 14 - VERIFICA ALLO S.L.U. PILASTRO RINFORZATO CON CONFINAMENTO DI FRP

Un pilastro a sezione rettangolare 15x30 cm, copriferro 2,1 cm, è armato con 2 ϕ 18 ai due lembi. Le staffe sono ϕ 8 con passo 10 cm. I materiali hanno le seguenti caratteristiche:

- cls: $R_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ $f_{cm}=20 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_c=1$ fattore di confidenza $FC=1,35$
 $f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC} = 14,81 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm}=1,57 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_c \cdot FC} = 1,16 \text{ N/mm}^2$
- acciaio: B450C $f_{ym}=380 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_s=1,0$ fattore di confidenza $FC=1,35$,
 $f_{yd} = \frac{f_{ym}}{\gamma_s \cdot FC} = 281,48 \text{ N/mm}^2$
- coefficiente di omogeneizzazione $n = \frac{E_s}{E_c} = 7,29$

Il pilastro è soggetto, a seguito di un cambio di destinazione d'uso dell'edificio a cui appartiene, alle seguenti sollecitazioni:

- primo caso (sforzo normale con piccola eccentricità): $N_x=-962 \text{ kN}$, $M_y=-9 \text{ kNm}$
- secondo caso (sforzo normale con grande eccentricità): $N_x=-204 \text{ kN}$, $M_y=66 \text{ kNm}$

Effettuiamo le verifiche (senza FRP) e ci accorgiamo che il pilastro non risulta verificato. Nel primo caso lo sforzo normale agente è superiore al valore massimo

SezioniCA.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 54 di 58
---	----------------------	---------------

dello sforzo normale di compressione sopportabile dalla sezione ($N_u^{\min} = -953$ kN), nel secondo caso il momento resistente della sezione è pari a $M_{Rd} = 55,3$ kNm.

Su decide allora di eseguire un intervento di confinamento con FRP. Si ipotizza di realizzare il rinforzo sovrapponendo strati di tessuto unidirezionali di CFRP in modo da costituire una fasciatura esterna continua avente le seguenti caratteristiche geometriche e meccaniche:

- spessore di uno strato: $t_{f,1} = 0,167$ mm = 0,0167 cm
- larghezza striscia: $b_f = 16$ cm
- angolo inclinazione fibre: 0° (ortogonali all'asse del pilastro)
- raggio curvatura negli spigoli della sezione: 2 cm
- modulo di elasticità longitudinale: $E_f = 270.000$ N/mm²
- tensione o resistenza caratteristica: $f_{pk} = 2.700$ N/mm²
- coeff. parziale sicurezza FRP per gli SLU: 1,1
- coeff. parziale per lo SLU di distacco dal supporto: 1,2
- fattore di conversione ambientale: 0,85.

Si procede considerando inizialmente un solo strato di CFRP per il confinamento.

Con le sollecitazioni del primo caso, già con un solo strato di CFRP si ottiene la verifica della sezione con: $N_u^{\min} = -1.187,8$ kN, $M_{Rd} = 27,8$ kNm.

Con le sollecitazioni del secondo caso, prevedendo anche un rinforzo longitudinale a pressoflessione con larghezza e spessore come quello usato per il confinamento, con un solo strato di CFRP si ottiene $M_{Rd} = 65,2$ kNm e quindi la sezione non risulta ancora verificata. Aumentiamo a due strati di CFRP e otteniamo la verifica della sezione con $M_{Rd} = 67,8$ kNm.

N° 15 - VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE RINFORZATA CON CAMICIA IN ACCIAIO

Si verifichi allo S.L.U. (NTC 2018) la sezione di un pilastro esistente 30x50 cm, soggetta, a seguito di un cambio di destinazione d'uso dell'edificio a cui appartiene, ad uno sforzo normale di compressione di $N_x = -2.300$ kN e a un momento flettente di $M_y = 65$ kNm, armata superiormente con 3 ϕ 16 e inferiormente con 3 ϕ 16. Il copriferro è di 3,0 cm e i materiali hanno le seguenti caratteristiche:

- cls: $R_{ck} = 20$ N/mm² $f_{cm} = 20$ N/mm² $\gamma_c = 1$ fattore di confidenza $FC = 1,35$

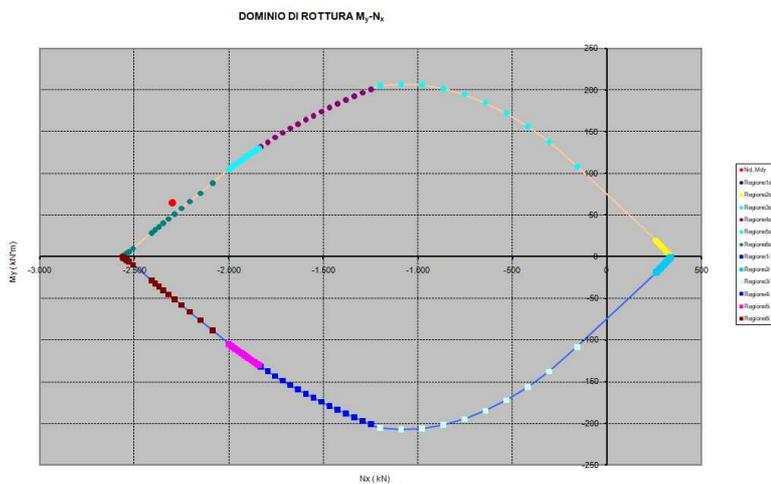
$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC} = 14,81$$
 N/mm² $f_{ctm} = 1,57$ N/mm² $f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_c \cdot FC} = 1,16$ N/mm²
- acciaio: B450C $f_{ym} = 380$ N/mm² $\gamma_s = 1,0$ fattore di confidenza $FC = 1,35$,

$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{\gamma_s \cdot FC} = 281,48$$
 N/mm²

- coefficiente di omogeneizzazione $n = \frac{E_s}{E_c} = 7,29$

Per il calcolo di verifica della sezione esistente non si considera alcun rinforzo in *Dati generali* e si caricano i superiori dati in *Materiali>Calcestruzzo e acciaio* (assumiamo il diagramma parabola-rettangolo per il cls e il diagramma elastico-perfettamente plastico per l'acciaio).

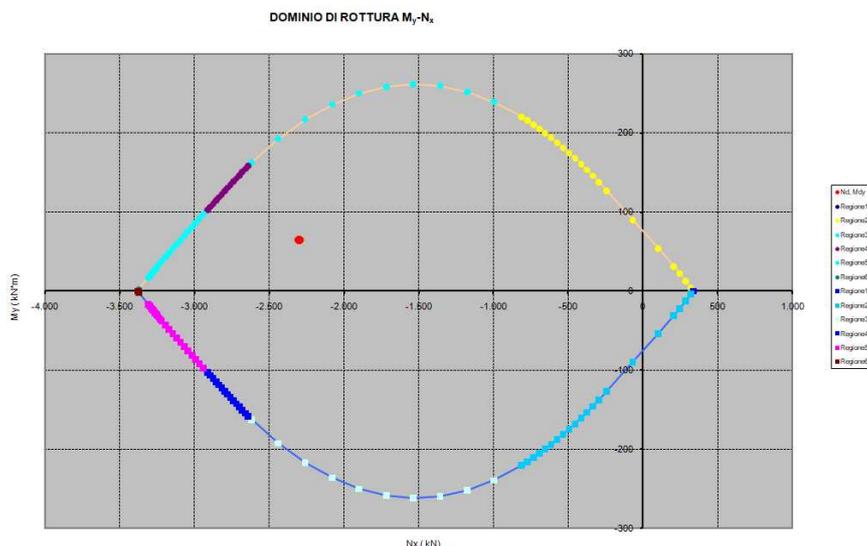
La sezione calcolata senza rinforzo ha un momento resistente di $M_{Rd}=48,8$ kNm e pertanto non risulta verificata.



Si decide di intervenire rinforzando la sezione con una camicia in acciaio che espleta il confinamento del cls:

- tipo confinamento: discontinuo; spessore bade 1 cm, larghezza bade 10 cm, interasse bande 30cm;
- tipo acciaio camicie: S 275

A questo punto si può lanciare il calcolo. La sezione nuova ha un momento resistente $M_{Rd}=211,3$ è risulta verificata come si vede anche dal relativo dominio di rottura:



N° 16 - VERIFICA ALLO S.L.U. SEZIONE RINFORZATA CON CAMICIA IN C.A.

Si verifichi allo S.L.U. (NTC 2018) la sezione quadrata di un pilastro esistente 30x30 cm, soggetta, a seguito di un cambio di destinazione d'uso dell'edificio a cui appartiene, ad uno sforzo normale di compressione di $N_x = -1000$ kN e a un momento flettente di $M_y = 65$ kNm, armata superiormente con 3 ϕ 14 e inferiormente con 3 ϕ 14. Il copriferro è di 2,0 cm e i materiali hanno le seguenti caratteristiche:

- cls: $R_{ck} = 20$ N/mm² $f_{cm} = 20$ N/mm² $\gamma_c = 1$ fattore di confidenza $FC = 1,35$

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC} = 14,81 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctm} = 1,57 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_c \cdot FC} = 1,16 \text{ N/mm}^2$$

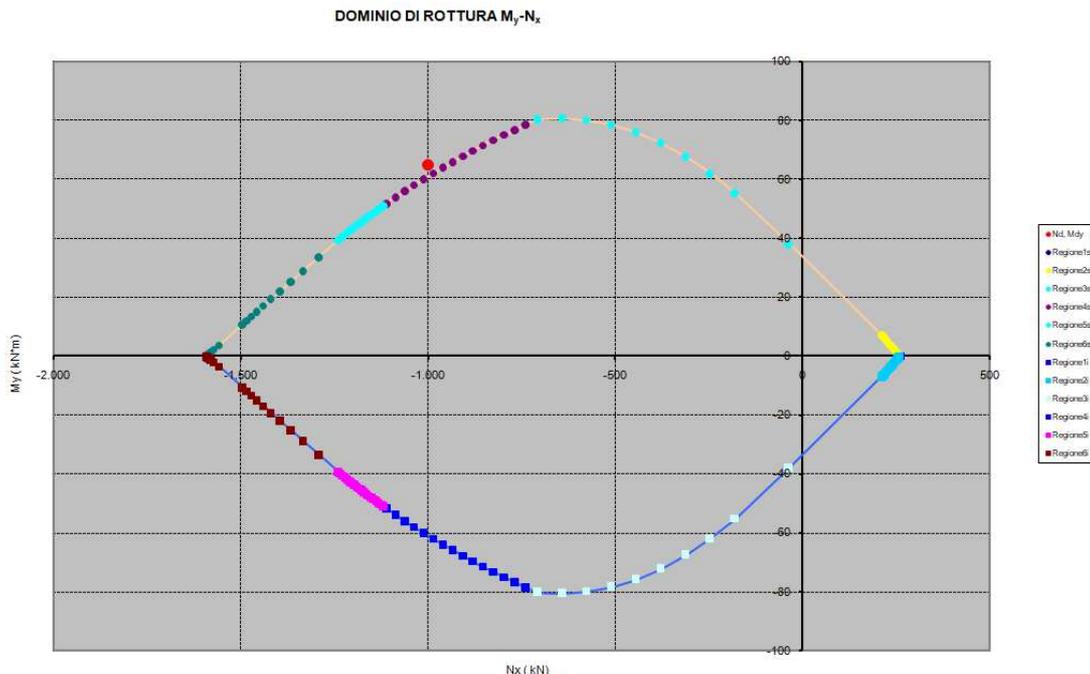
- acciaio: B450C $f_{ym} = 380$ N/mm² $\gamma_s = 1,0$ fattore di confidenza $FC = 1,35$,

$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{\gamma_s \cdot FC} = 281,48 \text{ N/mm}^2$$

- coefficiente di omogeneizzazione $n = \frac{E_s}{E_c} = 7,29$

Per il calcolo di verifica della sezione esistente non si considera alcun rinforzo in *Dati generali* e si caricano i superiori dati in *Materiali > Calcestruzzo e acciaio* (assumiamo il diagramma parabola-rettangolo per il cls e il diagramma elastico-perfettamente plastico per l'acciaio).

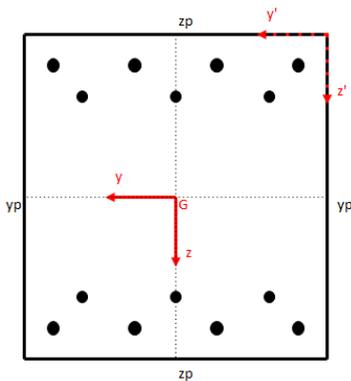
La sezione calcolata senza rinforzo ha un momento resistente di $M_{Rd} = 61,0$ kNm e pertanto non risulta verificata.



Si decide di intervenire rinforzando la sezione con una camicia in c.a. per ottenere una sezione complessiva 40x40 cm, con nuova armatura superiore 4φ16 e inferiore 4φ16. I nuovi materiali sono $R_{ck}=25 \text{ N/mm}^2$ e acciaio B450C. Il copriferro è di 3,0 cm.

In *Dati generali* si spunta la voce "Rinforzo con camicie in c.a.". In *Geometria>Sezione e armature* si clicca, per i ferri longitudinali, sull'opzione "anche altrove o diametro differenziato" e si caricano i dati dei quattro pacchetti di armatura (due sono già presenti e per essi occorre cambiare i dati sulle coordinate di inizio e di fine del pacchetto e il campo armatura nuova va commutato da "Si" a "No"):

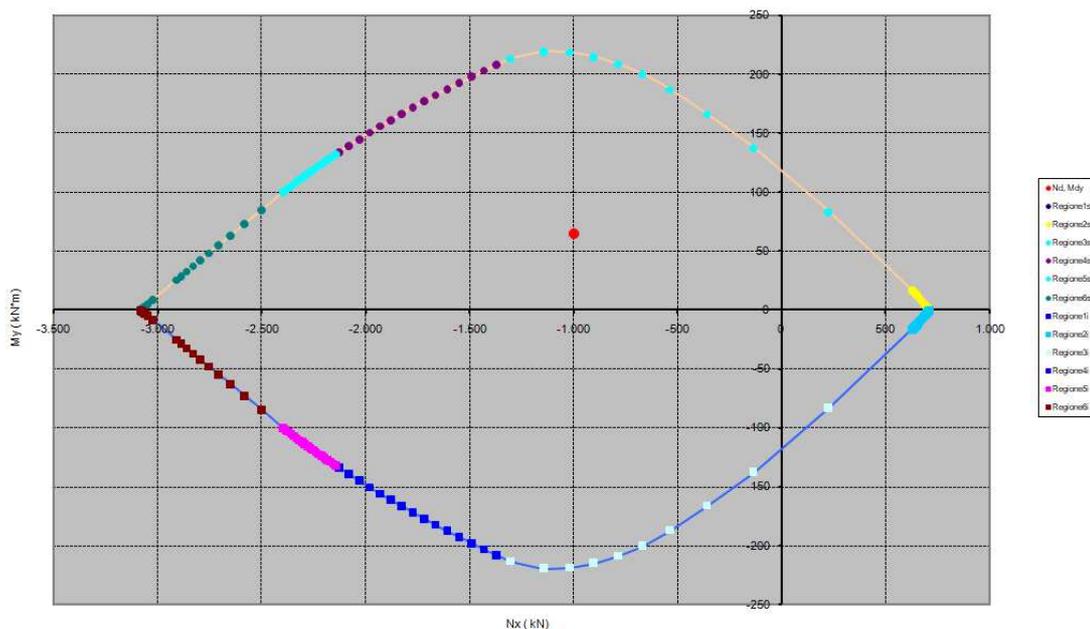
Pacchetto tondini	y'_{in} (cm)	z'_{in} (cm)	y'_{fi} (cm)	z'_{fi} (cm)	N_{tond}	d_{tond} (mm)	Armat nuova?
1	7,7	7,7	32,3	7,7	3	14	No
2	32,3	32,3	7,7	32,3	3	14	No
3	3,8	3,8	36,2	3,8	4	16	Si
4	3,8	36,2	36,2	36,2	4	16	Si



In *Materiali>Calcestruzzo e acciaio* si indicano i nuovi materiali calcolandone i relativi parametri meccanici, mentre in *Materiali>Acciaio esistente* si caricano i dati dell'acciaio esistente, sopra indicati.

A questo punto si può lanciare il calcolo. La sezione nuova ha un momento resistente $M_{Rd}=218,4$ è risulta verificata come si vede anche dal relativo dominio di rottura:

DOMINIO DI ROTTURA M_y-N_x



<p>SezioniCA.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)</p>	<p>Manuale d'uso</p>	<p>Pag. 58 di 58</p>
---	-----------------------------	----------------------

Bigliografia

- [1] Giangreco E. – *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 1 - Liguori editore, Napoli 1992
- [2] D.M. 11/02/1992 – *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [3] D.M. 09/01/1996 – *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [4] Circ. 15/10/1996, n. 252 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9 gennaio 1996*
- [5] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni*
- [6] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- [7] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*
- [8] Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018*
- [9] CNR-DT 204/2006, rev. 04/02/2008 – *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato*
- [10] Consiglio Superiore LL.PP. 24/07/2009 - *Linee guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP*
- [11] CNR-DT 200 R1/2013, rev. 15/05/2014 – *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*
- [12] Decreto del Presidente del Consiglio Superiore LL.PP. n. 208 del 09/04/2019 - *Linee Guida per la identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)*
- [13] Decreto del Presidente del Consiglio Superiore LL.PP. n. 293 del 29/05/2019 - *Linee Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti*

Data revisione Manuale d'uso: **Marzo 2022**