

RC-SEC FRP

© 2022 Geostru Software

INDICE

Cap. I	Introduzione	1
1	Ambito di applicazione del programma	4
2	Tipologie sezioni	5
3	Caratteristiche dei materiali	7
4	Unità di misura	9
Cap. II	Ambiente di lavoro	11
1	Menu dati generali	13
2	Sezioni predefinite iniziali	15
3	Sezioni precompresse	18
4	Sezioni generiche iniziali	19
5	Sezioni rettangolari o circolari di pilastri	22
6	Rinforzi sezioni predefinite	25
7	Rinforzo nodo trave-pilastro	29
8	Rinforzi sezioni generiche	32
9	Importazione sezione da file *.dxf	36
10	Importazione sforzi da file	37
11	Torsione semplice (con FRP)	39
12	Sforzi applicati	40
13	Staffe - Duttività	44
14	Archivio materiali	46
15	Opzioni armature e di calcolo	52
16	Altezza testi - Opzioni di stampa	54
17	Colori dei grafici	55
Cap. III	Risultati	56
1	Domini di interazione	57
2	Diagrammi Momenti-Curvature	60
Cap. IV	Stati limiti ultimi per tensioni normali	62
1	Azioni di calcolo	63
2	Sollecitazioni di progetto Ed	64
3	Resistenze di calcolo dei materiali	65
4	Sollecitazioni resistenti Rd	66
5	Stato limite ultimo per sforzo normale e momento flettente	66

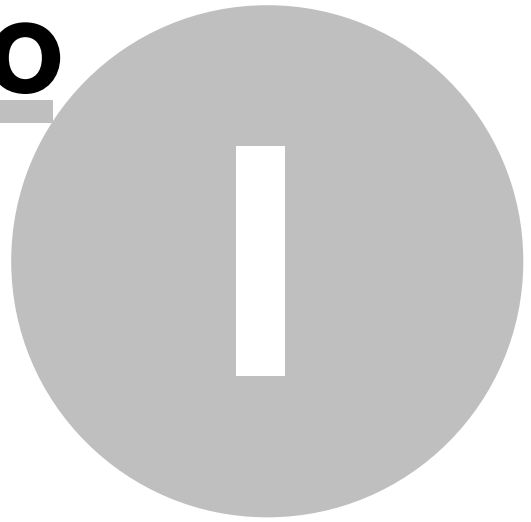
6 Diagramma di calcolo del calcestruzzo	67
7 Diagramma di calcolo dell'acciaio	69
8 Diagramma di calcolo FRP	71
9 Campo di applicazione e convenzioni	72
10 Calcolo per sollecitazione retta	74
11 Integrazione delle tensioni	74
12 Campi di rottura	76
13 Calcolo presso-tenso flessione retta	77
14 Misura della sicurezza	79
15 Calcolo diretto della resistenza	80
16 Calcolo per presso-tenso flessione deviata	81
17 Misura della sicurezza ad eccentricità costante	83
18 Misura della sicurezza a sforzo normale costante	84
Cap. V Confinamento e resistenza	86
1 Confinamento con FRP	87
2 Confinamento con camicia in ca	93
3 Cerchiatura con angolari e bande/nastri	98
Cap. VI Confinamento e duttilità	100
1 Duttilità con FRP	102
2 Duttilità con camicia in ca	104
3 Duttilità con angolari e bande/nastri	107
4 Duttilità con staffe confinanti	109
Cap. VII Verifica a taglio sezioni non rinforzate	110
1 Verifica sezioni predefinite	113
2 Verifica per taglio biassiale	114
3 Area resistente staffe e legature	117
4 Verifica del conglomerato compresso	120
5 Verifica armature a taglio	121
Cap. VIII Verifica a taglio sezioni rinforzate	123
1 Rinforzo a taglio con FRP	124
2 Rinforzo a taglio sezioni con incamiciatura in ca	126
3 Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande	127
Cap. IX Verifica a torsione con rinforzo FRP	130

Cap. X Stati limite di esercizio (SLE)	134
1 Azioni di progetto	135
2 Tensioni normali in esercizio	136
Verifica tensioni di interfaccia FRP	138
3 Ampiezza delle fessure	139
Procedimento di calcolo	140
Calcolo in presenza di FRP	143
Cap. XI Esempi di calcolo	144
1 Esempio 1	145
2 Esempio 2	155
3 Esempio 3	165
4 Esempio 4	177
5 Esempio 5	184
6 Esempio 6	189
7 Esempio 7	204
8 Esempio 8	212
9 Esempio 9	221
10 Esempio10	228
11 Esempio11	234
Cap. XII Bibliografia	239
Cap. XIII Contatti	241
Indice	0



Introduzione

Capitolo



1 Introduzione

Il presente programma è dedicato alla verifica delle sezioni in c.a. di travi e pilastri appartenenti ad edifici in c.a. esistenti da verificare sia in assenza di rinforzi sia con l'aggiunta di rinforzi secondo le indicazioni contenute nella Circolare NTC del 2019. Le verifiche previste in programma sono rivolte sia agli interventi di rinforzo di riparazione o locale così come definiti nel § 8.4 NTC sia alle verifiche di duttilità locali volte alla determinazione dei parametri di calcolo sezionale nelle analisi 'pushover'. Le nuove disposizioni presenti nella revisione NTC 2018 (DM 17/01/2018 [2²⁴⁰]) unitamente al DM 65 del 7.3.2017 (Sismabonus) hanno conferito molta più importanza agli interventi di riparazione locali al punto che l'ultimo D.M. citato contempla la possibilità del passaggio ad una classe superiore di rischio alle seguenti condizioni (metodo semplificato):

Per gli edifici in calcestruzzo armato, analogamente a quanto sopra detto per le strutture assimilabili ai capannoni industriali, è prevista la possibilità di ritenere valido il passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore, eseguendo solamente interventi di rafforzamento solamente di tipo 'locale' ed anche in assenza di una preventiva attribuzione della Classe di Rischio. Ciò è possibile soltanto se la struttura è stata originariamente concepita con la presenza di telai in entrambe le direzioni e se saranno eseguiti tutti gli interventi seguenti:

- confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio;
- opere volte a scongiurare il ribaltamento delle tamponature, compiute su tutte le tamponature perimetrali presenti sulle facciate;
- eventuali opere di ripristino delle zone danneggiate e/o degradate

La Circolare 2019 NTC non ha risolto alcuni problemi interpretativi, tra i quali quello della modalità di verifica di resistenza a flessione (semplice e composta) delle sezioni esistenti nel caso di calcolo globale della struttura con fattore di **comportamento $q \leq 1,5$. Per le nuove costruzioni calcolate in fase sismica con $q \leq 1,5$ e considerate come non dissipative (senza necessità di controllo della gerarchia delle resistenze e dei particolari costruttivi del cap. 7)** è stato introdotto l'obbligo di limitare la resistenza flessionale (per le sole combinazioni sismiche) al momento di prima plasticizzazione. Per una struttura esistente, invece, non si chiarisce se tale obbligo persista o meno (nonostante anche in questo caso non vi è la necessità dei controlli di gerarchia e dei particolari costruttivi). Nel dubbio il programma prevede entrambe le modalità a scelta del professionista.

Possono essere modellate anche sezioni miste costituite da due (o più) domini di calcestruzzo con differenti classi di resistenza e con differenti tipologie di barre di armature e/o con placcaggi in lamine di acciaio di rinforzo. In flessione retta possono essere esaminate sezioni precomprese rinforzate o meno, eventualmente dotate di soletta di secondo getto, con armature precomprese delle quali occorre fornire direttamente la tensione al tiro ed a perdite esaurite.

Alle sezioni iniziali in c.a. appartenenti ad edifici esistenti è possibile applicare i seguenti tipi di rinforzo:

- Solette in c.a. armate con nuove barre in acciaio (con il calcolo dello scorrimento da assorbire dai connettori per il collegamento a taglio con la sezione originaria)
- Placcaggi con lamine di acciaio per il rinforzo a flessione
- Tessuti o lamine in FRP per il rinforzo a flessione, taglio, confinamento
- Incamiciatura in c.a. per rinforzo a taglio, confinamento e/o a presso-flessione di pilastri rettangolari, circolari, poligonali
 - o Cerchiatura con angolari e bande/nastri per il rinforzo a taglio e/o confinamento per incrementare la duttilità di pilastri rettangolari

Per tali sezioni rinforzate, oltre alle verifiche di resistenza, possono essere effettuati verifiche di duttilità in curvatura mediante la generazione di diagrammi momenti-curvature basate sui valori di progetto dei materiali (con riferimento ad un calcolo lineare elastico della struttura) sia per sollecitazioni rette che deviate. Nei suddetti diagrammi, se si utilizzano i valori medi di resistenza dei materiali, vengono determinate le curvature di snervamento ed ultime da utilizzare per valutare le rotazioni alla corda (allo snervamento ed ultime) da impiegare per analisi statiche non lineari (pushover) sulla scorta delle apposite relazioni di cui al § C8A.6 delle Istruzioni [2²⁴⁰].

Il calcolo di verifica delle sezioni di travi e pilastri in c.a. viene svolto agli stati limite ultimi e di esercizio. Per le verifiche di resistenza a presso-tenso flessione (retta e deviata) è previsto l'uso del diagramma tensioni-deformazione parabola-rettangolo per i calcestruzzi e bilineare per gli acciai. Nelle verifiche a taglio è stata implementata di regola la metodologia che prevede l'uso dell'inclinazione variabile delle bielle compresse salvo nel caso in cui sia richiesta una duttilità alla corda superiore a 2 : in tal caso viene svolta la verifica a taglio ciclico richiesta nel calcolo non lineare (§ C8.7.2.3.5). Nella valutazione della duttilità in curvatura viene impiegato, per il conglomerato confinato, un diagramma tensioni-deformazioni parabola-rettangolo basato sulle indicazioni del § 4.1.2.1.2.1 NTC eventualmente adattato ai valori medi di resistenza dei materiali (nel suddetto paragrafo il confinamento è basato solo sui valori di progetto).

Possono essere analizzate sezioni di qualsiasi forma, da quelle più comuni predefinite in flessione retta (rettangolari, a T, T doppio, ad L, circolari) a quelle più complesse anche in flessione deviata (a contorno poligonale costituite da uno o più domini di conglomerato, miste). Per alcuni tipi di rinforzo la forma delle sezioni è ristretta (dalla normativa) solo ad alcune tipologie. Ad esempio per la cerchiatura con angolari e bande la sezione deve essere rettangolare; per il confinamento con FRP deve essere circolare o rettangolare etc..

Le verifiche vengono svolte in base alle NTC 2018 [1²⁴⁰], alle relative Istruzioni [2²⁴⁰] ed alle CNR-DT 200 2013 [17²⁴⁰] per le sezioni rinforzate con FRP.

Per approfondire la conoscenza delle tecnologie di rinforzo e delle relative modalità di applicazione sottese alle varie funzioni del programma si consigliano, oltre alle fonti normative già citate, i volumi [8] e [10] in bibliografia²⁴⁰.

IN RIFERIMENTO ALLE SEZIONI RINFORZATE IL PROGRAMMA AFFRONTA L'ANALISI DELLE SEGUENTI CLASSI DI PROBLEMI:

Stati limite ultimi:

- Verifiche di resistenza (SLU) in presso-tenso flessione retta o deviata
- Domini di interazione (della sezione iniziale e di quella rinforzata) N-Mx per sezioni in flessione retta e Mx-My per flessione deviata (calcolo e rappresentazione grafica).
- Verifica delle staffe (esistenti + eventuali nuove assegnate o fasciature FRP) per taglio retto e biassiale
- Verifica a torsione per sezioni rettangolari, poligonali o circolari rinforzate con FRP

Stati limite di esercizio:

- Verifica delle tensioni normali in presso-tenso flessione retta e deviata della sezione rinforzata.
- Verifica a fessurazione mediante il calcolo dell'apertura delle fessure.

Duttilità:

- Verifica diretta della capacità di duttilità in curvatura μ_{ϕ} della sezione iniziale e di quella rinforzata mediante costruzione del diagramma momenti-curvature (anche

in flessione deviata) tenendo eventualmente conto dell'effetto del confinamento dei rinforzi aggiunti (FRP o staffe/bande/nastri) sulla legge tensione-deformazione del nucleo confinato. Vengono sempre calcolate le curvature di snervamento ed ultime necessarie al calcolo delle rotazioni alla corda da utilizzare per le procedure non lineari di calcolo strutturale (pushover).

TIPOLOGIA DELLE SEZIONI

E' consentita la schematizzazione di sezioni in c.a. del tutto generali costituite da uno o più domini di conglomerato (pieni o vuoti) di forma poligonale o circolare. Le barre di armatura possono essere assegnate singolarmente, generate automaticamente nei vertici dei domini, generate linearmente tra due barre, generate lungo una circonferenza.

Per le sezioni di uso più corrente (sezioni predefinite rettangolari, circolari, a T, a C etc.) è previsto un input velocizzato ed la soluzione in presso-tenso flessione retta.

Per i pilastri rettangolari da verificare in flessione deviata è previsto un apposita finestra di input per velocizzare l'input.

Per tutte le sezioni è possibile considerare in un unico ciclo di calcolo fino a 60 combinazioni di sollecitazioni per ognuna delle seguenti tipologie:

- Combinazioni allo stato limite ultimo o di prima plasticizzazione
- Combinazioni rare in esercizio
- Combinazioni frequenti in esercizio
- Combinazioni quasi permanenti in esercizio

IMPORTAZIONI ED ESPORTAZIONI

Per le sezioni di forma generica è anche possibile l'importazione da File `.dxf`^[36] dei domini di conglomerato e delle barre di armatura longitudinale della sezione iniziale.

Naturalmente è prevista l'importazione dei dati della sezione iniziale (di tipo generico) dai file di tipo `.sez` del programma RC-SEC prodotto da questa stessa software house.

E' altresì possibile importare le sole combinazioni di sforzi^[37] da un file di testo `.txt` predisposto secondo un semplice formato unico.

1.1 Ambito di applicazione del programma

Il programma è applicabile solo a sezioni in c.a. per le quali possa considerarsi valida l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e la perfetta aderenza delle armature e dei rinforzi applicati al conglomerato circostante.

Le sezioni da calcolare devono essere compatte (come in genere risultano essere la maggior parte delle sezioni in c.a.) in modo tale che il centro di taglio possa considerarsi praticamente coincidente con il baricentro geometrico (cioè il taglio non deve generare torsione); in particolare non vengono considerate sezioni aperte in parete sottile. Le sezioni cave prevedono solo verifiche a presso-flessione ma non a taglio in quanto per quest'ultima sollecitazione sono carenti riferimenti di comprovata validità.

Le singole combinazioni degli sforzi assegnati sono pensati applicati alla sezione in due fasi di carico:

- La prima fase si riferisce alla sola sezione iniziale non rinforzata soggetta ai soli sforzi di esercizio presenti immediatamente prima dell'esecuzione dei rinforzi
- La seconda fase considera la sezione già rinforzata e soggetta alle combinazioni di sforzi finali (SLU e SLE), comprensivi cioè di quelli di esercizio prima assegnati.

Per una stessa sezione possono essere svolti contemporaneamente sia le verifiche di resistenza (SLU) sia quelle di esercizio (SLE) per tensioni normali ed apertura delle fessure.

I metodi di calcolo ed i riferimenti normativi utilizzati nella redazione del programma sono descritti in dettaglio in altri specifici capitoli del presente manuale.

Le sezioni in c.a. esaminate dal programma sono suddivise nei seguenti quattro gruppi descritti nel paragrafo successivo^[5]:

- Sezioni predefinite (in flessione retta) eventualmente precomprese
- Sezioni generiche (in flessione retta e deviata)
- Sezioni rettangolari di pilastri (in flessione deviata)
- Sezioni poligonali soggette a torsione semplice

Sono altresì previste verifiche e rinforzi di vario tipo dei nodi trave-pilastro^[29] dopo aver assegnato armature e dimensioni della sezione predefinita della singola trave convergente nel nodo.

All'avvio di ogni calcolo sezionale oltre alla scelta di una delle quattro tipologie vanno definiti (nella scheda dei dati generali^[13]) una serie di parametri e di opzioni tra cui si segnala la scelta del tipo di sezione (se di trave, pilastro o trave priva di armature trasversali), della posizione della sezione nell'ambito dell'asta (se in prossimità dei nodi di estremità o in zona centrale dell'asta). Ciò permette al programma il controllo delle differenti prescrizioni previste dalle norme. A tal fine è importante sottolineare che nel caso di verifiche per combinazioni sismiche il programma non verifica i richiedi particolari costruttivi richiesti dalle NTC, nel capitolo 7, per le sezioni di nuova costruzione: eventuali verifiche di duttilità potranno essere eseguite mediante calcolo diretto tramite costruzione di diagrammi momenti-curvature (in questo stesso programma).

Nelle verifiche delle sezioni rinforzate riveste un ruolo fondamentale la determinazione delle proprietà dei materiali della sezione esistente (i cui dati vanno stimati ed inseriti nell'archivio dei materiali) che condizionano comunque i risultati delle verifiche della sezione rinforzata. Riferimenti più approfonditi su questo argomento vengono svolti nel paragrafo "caratteristiche dei materiali"^[7].

1.2 Tipologie sezioni

Sezioni predefinite

Sono quelle di uso più frequente nelle travi appartenenti a strutture correnti in c.a. e costituite da un unico dominio di conglomerato avente forma rettangolare, circolare, a T, rettangolare con flange (rientrano in questo sottocaso anche le forme a C ed a L), poligonale simmetrica.

Per tutte le suddette sezioni l'armatura deve essere definita da due file di armature (superiore ed inferiore) da assegnare mediante il numero di barre ed il relativo diametro e copriferro. È pure prevista l'assegnazione di separata armatura di precompressione distribuita su più livelli (fino a 10) lungo l'altezza della sezione.

Alla sezione iniziale così definita possono aggiungersi:

- solette (superiore e/o inferiore) di nuovo calcestruzzo con eventuali nuove barre longitudinali di armatura;
- placcaggi superiore o inferiore con lamine di acciaio o FRP per rinforzo flessionale;
- camicie in c.a. con nuove barre longitudinali e nuove staffe (solo per sezioni rettangolari);

- cerchiatura con angolari e bande/nastri di confinamento (solo sezioni rettangolari);
- confinamento pilastri con FRP.

Per tutte le sezioni predefinite il momento flettente da assegnare può avere solo la componente M_x (flessione retta intorno all'asse x del riferimento con segno positivo se comprime le fibre superiori della sezione) ed il corrispondente asse neutro risulta sempre parallelo all'asse x . Ciò è a rigore vero solo per le sezioni simmetriche rispetto all'asse y , ma costituisce prassi corrente anche per sezioni non simmetriche appartenenti a travi di impalcato degli edifici o a graticci di travi in fondazione. In questi casi, infatti, è prevalente l'ipotesi di impalcato rigido nel proprio piano che non consente di definire il vincolo trasversale che agisce sulle travi; l'esistenza di questo vincolo condiziona la deviazione dall'orizzontale dell'asse neutro a flessione tendendo comunque a riportare l'asse neutro in direzione orizzontale (cioè in direzione perpendicolare al piano sollecitazione qui ipotizzato sempre verticale). D'altro canto un calcolo a flessione deviata non sarebbe, in questi casi, più preciso in assenza della valutazione del suddetto vincolo membranale di impalcato.

Le verifiche di resistenza (dopo la definizione dei rinforzi) possono essere effettuate in presenza (anche contemporanea) di sforzo normale N , momento flettente M_x e taglio V_y . Dette verifiche conducono alla determinazione degli sforzi resistenti ultimi della sezione rinforzata da confrontare con quelli della sezione originaria non rinforzata nell'ambito degli SLU.

Per ogni sezione predefinita è possibile generare il dominio di interazione N - M_x per lo Stato Limite Ultimo della sezione rinforzata (è anche possibile esaminare la sua sovrapposizione con il dominio della sezione iniziale).

Alla stessa sezione possono assegnarsi ulteriori 60 combinazioni di sforzi (ognuna costituita dallo sforzo normale N_e dal momento M_x) per ognuna delle tre possibili tipologie di combinazione in esercizio (*rara*, *frequente*, *quasi permanente*). Il programma determina le massime tensioni normali e l'apertura delle fessure confrontandone i valori con quelli limiti di normativa.

Sezioni generiche

La sezione iniziale può essere costituita da uno o più domini di calcestruzzo di forma poligonale generica. Dette sezioni possono appartenere sia a travi che a pilastri. Per tali sezioni le barre di armatura possono essere assegnate singolarmente tramite l'input delle coordinate (in corrispondenza dei vertici dei domini poligonali) e/o per generazioni automatiche lineari.

Il calcolo di resistenza agli SLU è svolto in regime di presso-tenso flessione deviata e taglio, cioè possono contemporaneamente essere assegnate le seguenti componenti di sforzo (per ognuna delle 60 combinazioni possibili): N , M_x , M_y , V_y , V_x .

Alla sezione iniziale possono aggiungersi ulteriori domini di calcestruzzo nuovo a forma quadrangolare generica e nuove barre di armatura longitudinale; ai singoli lati del perimetro è possibile aggiungere una lamina in acciaio o in FRP. Per le sezioni costituite da un solo dominio è definibile una camicia in c.a. di prefissato spessore. In alternativa è previsto il confinamento e/o rinforzo a taglio con tessuto FRP.

Il calcolo fornisce in uscita gli sforzi resistenti ultimi per presso flessione deviata e taglio obliquo per ogni combinazione assegnata (riferita alla sezione rinforzata).

Vengono inoltre calcolati per punti e per ogni combinazione i domini bidimensionali di interazione M_x, M_y a sforzo normale costante sia della sezione rinforzata che di quella iniziale.

Alla stessa sezione possono assegnarsi ulteriori 60 combinazioni di sforzi (sforzo normale N e momenti M_x , M_y) per ognuna delle tre possibili tipologie di combinazione in esercizio (*rara*, *frequente*, *quasi permanente*). Il programma determina le massime tensioni normali e l'apertura delle fessure confrontandone i valori con i corrispondenti valori limite di normativa.

Sezioni rettangolari o circolari di pilastri

La maggior parte dei pilastri di corrente progettazione è caratterizzato da sezione rettangolare o circolare. Questa tipologia è stata introdotta per consentire un input dei dati del dominio di calcestruzzo più veloce rispetto a quello delle sezioni generiche. Le verifiche, specie se di tipo sismico, comportano quasi sempre la contemporanea presenza delle componenti sforzi N , M_x , M_y , V_y , V_x e cioè un tipo di sollecitazioni di tipo biassiale. Le armature vengono assegnate con lo stesso input riservato alle sezioni generiche. I rinforzi previsti sono dello stesso tipo di quelli descritti per le sezioni generiche.

Sezioni poligonali soggette a torsione

Per la particolare tipologia di sezioni a geometria rettangolare, circolare o poligonale generica piene o cave soggette a torsione semplice e rinforzate con FRP si è predisposto questo apposito sottoprogramma che risolve, pertanto, solo questa particolare classe di sezioni.

In presenza anche di taglio la verifica a taglio-torsione va effettuata esternamente al programma sulla scorta dei risultati ottenuti da due distinti calcoli a taglio-flessione e a torsione semplice svolti utilizzando il programma.

Si ricorda infine che la verifica a torsione è obbligatoria nel solo caso di torsione primaria (necessaria all'equilibrio della struttura) e che è sempre opportuno progettare strutture in c.a. evitando per tutti gli elementi resistenti la presenza di torsione primaria per la scarsa attitudine delle sezioni in c.a. a resistere a tale sforzo.

1.3 Caratteristiche dei materiali

Nelle verifiche di resistenza e duttilità dei materiali di rinforzo (FRP, calcestruzzo per incamiciature e/o solette, acciai in barre o nastri etc) vanno semplicemente assunti i valori nominali delle proprietà dei materiali.

Per quanto riguarda invece i materiali delle sezioni esistenti le proprietà vanno definite in base al livello di conoscenza (§C8A.1.B.3 Istruzioni NTC) che si intende raggiungere:

- LC1 (Conoscenza limitata): in assenza di dati attendibili si adottano valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ degli elementi più importanti.
- LC2 (Conoscenza adeguata): presenza di informazioni e certificati originali di prova convalidati da limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ.
- LC3 (Conoscenza accurata): estese prove in-situ che devono diventare esaustive nel caso in cui le prime siano discordanti dai dati originali disponibili.

Per l'acciaio solo in presenza di certificati di prova di entità conforme alla normativa dell'epoca non è strettamente necessario procedere a prove distruttive (resistenza a snervamento e deformazione ultima) su campioni.

Per il calcestruzzo, invece, vanno sempre eseguite prove distruttive (carotaggio) in funzione del livello di conoscenza adottato e nel numero di prove indicato dalla Tabella C8A.1.3a delle Istruzioni NTC [2²⁴⁰]. Ad integrazione delle prove distruttive sono ammessi metodi di indagine non distruttivi (di documentata affidabilità come ad esempio il metodo SonReb) purché i relativi risultati siano tarati con i primi.

Dai risultati delle suddette indagini in-situ sul calcestruzzo si deve giungere alla stima di un valore medio f_{cm} che dovrebbe essere dedotto, su basi statistiche, sia sul numero che sul tipo di prove effettuate. Noto che sia f_{cm} si ricava il seguente valore della resistenza di calcolo $f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_c \cdot FC)$ in cui $\gamma_c = 1.5$ è il coeff. di sicurezza parziale del calcestruzzo ed FC è il fattore di confidenza (Tabella C8A.1.3a Istruzioni NTC) che vale 1.35, 1.20, 1.00 in corrispondenza dei livelli di conoscenza LC1, LC2, LC3.

Ma se f_{cm} è ricavato da prove distruttive o combinate (distruttive e non distruttive) il secondo capoverso del §11.2.6 NTC ammette che tale valore sia non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto. Cioè, detta f_m la resistenza media dedotta dalle sole prove distruttive fatte, nei calcoli sui calcestruzzi esistenti si può assumere $f_{cm} = f_m / 0.85$ da cui ricavare f_{cd} (da inserire nell'archivio materiali^[46]) con la relazione prima indicata. Volendo essere più conservativi il coefficiente 0.85 può essere incrementato fino all'unità. I valori medi di resistenza dell'acciaio e del calcestruzzo sono altresì importanti nel calcolo della capacità di rotazione delle strutture con riferimento al calcolo non lineare (pushover).

Ad avviso di chi scrive per caratterizzate completamente il calcestruzzo nelle verifiche di resistenza e duttilità è necessaria la determinazione della resistenza caratteristica f_{ck} :

- sia per valutare la resistenza a taglio in assenza di staffe con le formule di normativa nonché la resistenza a trazione f_{ctm} per i calcoli SLE
- sia per valutare la resistenza si progetto del calcestruzzo confinato esistente mediante le formule di cui al § 4.1.2.1.2.1 NTC che contengono f_{ck} .

Un primo riferimento utilizzabile è contenuto nell'EC2 Parte 1 che fornisce $f_{ck} = f_{cm} - 80$ (daN/cm²), ma tale valore fa riferimento ad un materiale nuovo e per un materiale esistente sarebbe indipendente dal numero di prove.

Solo la Norma EN 13791 (2007) prende in considerazione la possibilità di passare dal valore medio a quello caratteristico con due differenti formulazioni (entrambe basate su prove distruttive su carote):

1) Se il numero di carote è non minore di 15, f_{ck} in MPa è il minimo dei due valori seguenti:

$$f_{ck} = f_m - 1.48 \cdot s \quad \text{con } s = \text{deviazione standard dei risultati (} s \geq 2 \text{ MPa)}$$

$$f_{ck} = f_{i,\min} + 4 \quad \text{con } f_{i,\min} \text{ valore minimo della resistenza rilevata sui singoli campioni}$$

2) Se il numero di carote va da 3 a 14, f_{ck} in MPa è il minimo dei due valori seguenti:

$$f_{ck} = f_m - k \quad \text{con } k = 5 \text{ MPa per n. carote da 10 a 14; } k = 6 \text{ per n. da 7 a 9; } k = 7 \text{ con n. da 3 a 6}$$

$$f_{ck} = f_{i,\min} + 4 \quad \text{con } f_{i,\min} \text{ valore minimo della resistenza rilevata sui singoli campioni}$$

Un'altra possibile (ma a mio avviso superata) valutazione di f_{ck} potrebbe ricavarsi dalla (3.3) delle CNR-DT 200/2004 che applicata al calcestruzzo conduce al seguente valore caratteristico:

$$f_{ck} = f_m (1 - 0.2 \cdot K_n)$$

con K_n da assumersi (tabella 3-1 delle CNR-DT) in funzione del numero di prove e variabile da 2.31 per una sola prova a 1.64 per un numero infinito di prove.

1.4 Unità di misura

Per l'unità di misura delle forze - nel il Sistema Internazionale (S.I.) - si è fatto uso delle seguenti unità di misura:

per tensioni e moduli elastici: N/mm^2

per le sollecitazioni di sforzo normale e taglio: **kN**

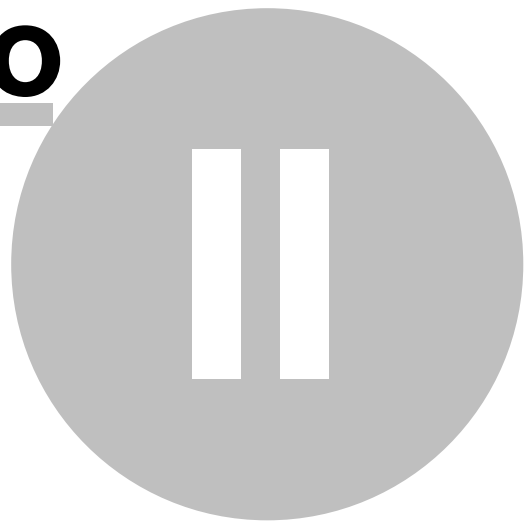
per le sollecitazioni di momento flettente e torcente: **kNm**

L'unità di misura utilizzata più frequentemente per le dimensioni geometriche delle sezioni (sia in Input che in Output) è il centimetro (cm).

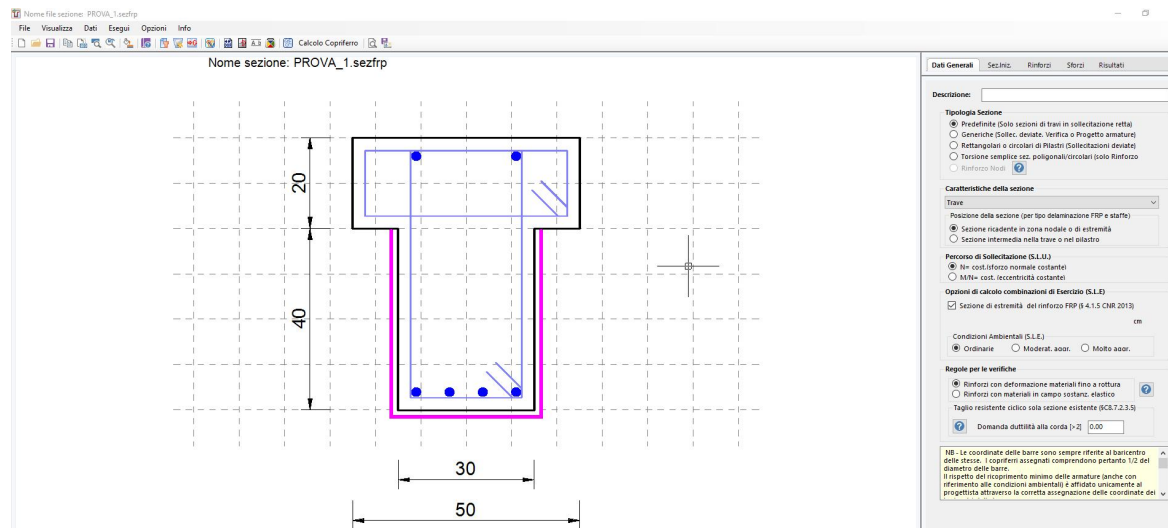
In ogni campo di input del programma vengono sempre specificate le unità di misura dei dati da immettere; anche i formati delle grandezze in uscita sono predefiniti sulla base delle suddette dimensioni onde ottenere stampe e visualizzazioni dei risultati in un formato prevedibile e facilmente leggibile.

Ambiente di lavoro

Capitolo



2 Ambiente di lavoro



La prima riga dello schermo è costituita dai *menu principali* del programma attraverso i quali è possibile la gestione delle principali funzioni del programma.

La parte sinistra dello schermo è costituita dalla finestra che espone il grafico della sezione durante l'inserimento dati ed i risultati in forma grafica a valle dell'esecuzione del calcolo (diagrammi delle tensioni, diagrammi di interazione etc.).

Nella parte destra dello schermo sono presenti sei *schede* ad ognuna delle quali corrispondono le seguenti finestre:

- Dati generali ¹³
- Sezione iniz. ¹⁵
- Rinforzi ²⁵
- Sforzi ⁴⁰
- Risultati ⁵⁷
- Duttilità ⁴⁴

Le prime quattro schede corrispondono ai primi quattro comandi del menu dati ¹³, la scheda Risultati ⁵⁷ corrisponde al comando salva e calcola del menu (a tendina) *esegui*. L'ultima scheda Staffe-Duttilità ⁴⁴ è attiva solo dopo che sono stati visualizzati i risultati nella relativa scheda; grazie alla scheda Duttilità ⁴⁴ è possibile sia calcolare il diagramma momenti-curvature, sia aggiungere, modificare e/o assegnare un diverso passo e diametro a staffe e legature alle sezioni generiche iniziali (ed anche ai pilastri rettangolari) e, subito dopo, riverificare a taglio la sezione selezionando la finestra Risultati ⁵⁷: questa operazione può essere ripetuta più volte consecutivamente fino a verifica. La generazione dei diagrammi momenti-curvature è possibile anche in pressoflessione deviata finalizzati alla valutazione della duttilità in curvatura (utilizzando valori di progetto dei materiali) ed anche ai valori dei momenti di snervamento e rottura (e relative curvature) da utilizzare per un eventuale calcolo non lineare (utilizzando i valori medi di resistenza dei materiali).

Una volta assegnate le caratteristiche dei materiali iniziali e di rinforzo (calcestruzzi, acciai per barre e lamine, FRP) nell'archivio materiali ⁴⁶ accessibile dal *menu dati*, la modellazione della sezione in input e la sua successiva risoluzione è gestibile interattivamente mediante l'uso delle sole cinque schede suddette.

Sotto la finestra grafica è infine presente una finestra il cui contenuto varia a seconda del tipo di rappresentazione grafica corrente. Nel caso ci si trovi nella fase di inserimento dati della sezione vengono visualizzati la legenda delle barre assegnate, i dati geometrici (area, coordinate del baricentro, momenti statici e d'inerzia) della

sezione iniziale di solo conglomerato ed una serie di opzioni relative alla modalità con cui si gradisce visualizzare la sezione in esame.


2.1 Menu dati generali

E' la prima finestra di dati da compilare all'avvio di un nuovo calcolo. Si specificano i principali dati da immettervi:


Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi Sforzi Risultati

Descrizione: Sezione incamiciata con barre aggiunte passanti

Tipologia Sezione

Predefinite (Solo sezioni di travi in sollecitazione retta)
 Generiche (Sollec. deviate. Verifica o Progetto armature)
 Rettangolari o circolari di Pilastri (Sollecitazioni deviate)
 Torsione semplice sez. poligonali/circolari (solo Rinforzo)
 Rinforzo Nodi 

Caratteristiche della sezione

Pilastro (asta compressa) 

Posizione della sezione (per tipo delaminazione FRP e staffe)

Sezione ricadente in zona nodale o di estremità
 Sezione intermedia nella trave o nel pilastro

Percorso di Sollecitazione (S.L.U.)


N= cost.(sforzo normale costante)
 M/N= cost. (eccentricità costante)

Opzioni di calcolo combinazioni di Esercizio (S.L.E)


Condizioni Ambientali (S.L.E.)

Ordinarie Moderat. aaar. Molto aaar.

Regole per le verifiche

Rinforzi con deformazione materiali fino a rottura 
 Rinforzi con materiali in campo sostanz. elastico

Taglio resistente ciclico sola sezione esistente (§C8.7.2.3.5)

 Domanda duttilità alla corda [>2]

**NB - Le coordinate delle barre sono sempre riferite al baricentro delle stesse. I copriferri assegnati comprendono pertanto 1/2 del diametro delle barre.
Il rispetto del ricoprimento minimo delle armature (anche con riferimento alle condizioni ambientali) è affidato unicamente al progettista attraverso la corretta assegnazione delle coordinate dei**

- Tipologia del calcolo: va scelta tra le quattro descritte nei corrispondenti pulsanti di scelta:
- Sezioni predefinite¹⁵⁾: si riferiscono solo a travi di forma rettangolare, a T, rettangolare con flange anche diseguali, poligonali simmetriche rispetto all'asse verticale. La presso-tenso flessione può essere solo retta.


- Sezioni generiche^[19]: sono quelle costituite da uno o più domini di conglomerato a forma poligonale o circolare con armature comunemente disposte. La flessione può essere sia retta che deviata.
- Sezioni rettangolari o circolari di pilastri^[22]: per le sezioni rettangolari la disposizione delle armature è generica e la flessione è di norma deviata.
- Torsione semplice^[39] in sezioni poligonali generiche o circolari rinforzate con FRP.
- Caratteristiche della sezione: va indicato se la sezione appartiene ad una trave, ad un pilastro o ad una trave priva di armature trasversali resistenti a taglio (soletta, travetto solaio). Va inoltre indicato se la sezione ricade in prossimità di uno dei nodi di estremità della trave o del pilastro. Ciò è importante per definire il tipo di delaminazione da controllare nel caso di rinforzi a flessione con FRP.
- Percorso di sollecitazione: nel calcolo allo Stato Limite Ultimo per tensioni normali (presso-tenso flessione) la misura della sicurezza può essere sia a sforzo normale costante (scelta di default da preferire sempre tranne nei casi di pilastri soggetti prevalentemente a sforzo normale con piccolissima eccentricità) sia a rapporto $M/N = \text{costante}$.
- Opzioni di calcolo delle combinazioni di esercizio (SLE): l'assegnazione delle combinazioni di esercizio è opzionale a differenza di quelle di resistenza che vanno sempre assegnate (almeno una). Nel calcolo delle tensioni e dell'apertura delle fessure la sezione viene considerata sempre fessurata (tranne che nelle sezioni precomprese in cui il calcestruzzo resiste a trazione fino al valore di f_{ctm} assegnato al calcestruzzo nell'archivio materiali^[46]). Per le sezioni rinforzate a flessione con FRP è possibile richiedere la verifica delle tensioni di interfaccia nel caso in cui detta sezione ricada all'estremità del rinforzo (§4.1.5 CNR 2013). Va infine definita una delle Condizioni ambientali previste (ordinarie, aggressive e molto aggressive) ed in base alla quale il programma determina i valori limite delle tensioni normali e dell'apertura delle fessure da utilizzare nelle verifiche delle combinazioni di esercizio.
- Regole per le verifiche (armature minime, passi massimi staffe etc.): Poiché le NTC prevedono anche la possibilità di calcolo sismico non dissipativo è prevista sia il comportamento dei materiali con resistenze con deformazioni a rottura sia con resistenze limitate al comportamento in campo sostanzialmente elastico. Trattandosi di sezioni esistenti da rinforzare non viene controllato il rispetto dei particolari costruttivi previsto per le classi di duttilità CD'A' e CD'B'; se richiesto, il controllo di duttilità dovrà, di conseguenza, essere basato sulla costruzione diretta del diagramma Momenti-Curvature effettuabile nella scheda Staffe-Duttilità^[44].
- Taglio resistente ciclico: è prevista la valutazione della resistenza a taglio in fase sismica di tipo ciclico (§ C8.7.2.3.5) nel caso di sezioni esistenti non rinforzate nel caso in cui la domanda di duttilità alla corda superi il valore di 2.

2.2 Sezioni predefinite iniziali

Questa finestra dati riguarda solo la sezione iniziale da rinforzare e si apre se nei dati generali si è selezionata come tipologia di calcolo la voce "sezioni predefinite". Si elencano i dati da immettere:

Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi Sforzi Risultati

Sezione predefinita iniziale

Sezione Precompressa 

T / T rovescia

fck160

Dati sezione calcestruzzo (in cm)

Bi

Hi

Bs

Hs

Armature lente

Feb38k

C.ferr

C.ferr

Barre Inferiori

n° Ø mm n° Ø mm

Barre Superiori

n° Ø mm n° Ø mm

Staffe

1 Staffa chiusa Braccio intermedio Senza Staffe

2 Staffe chiusa

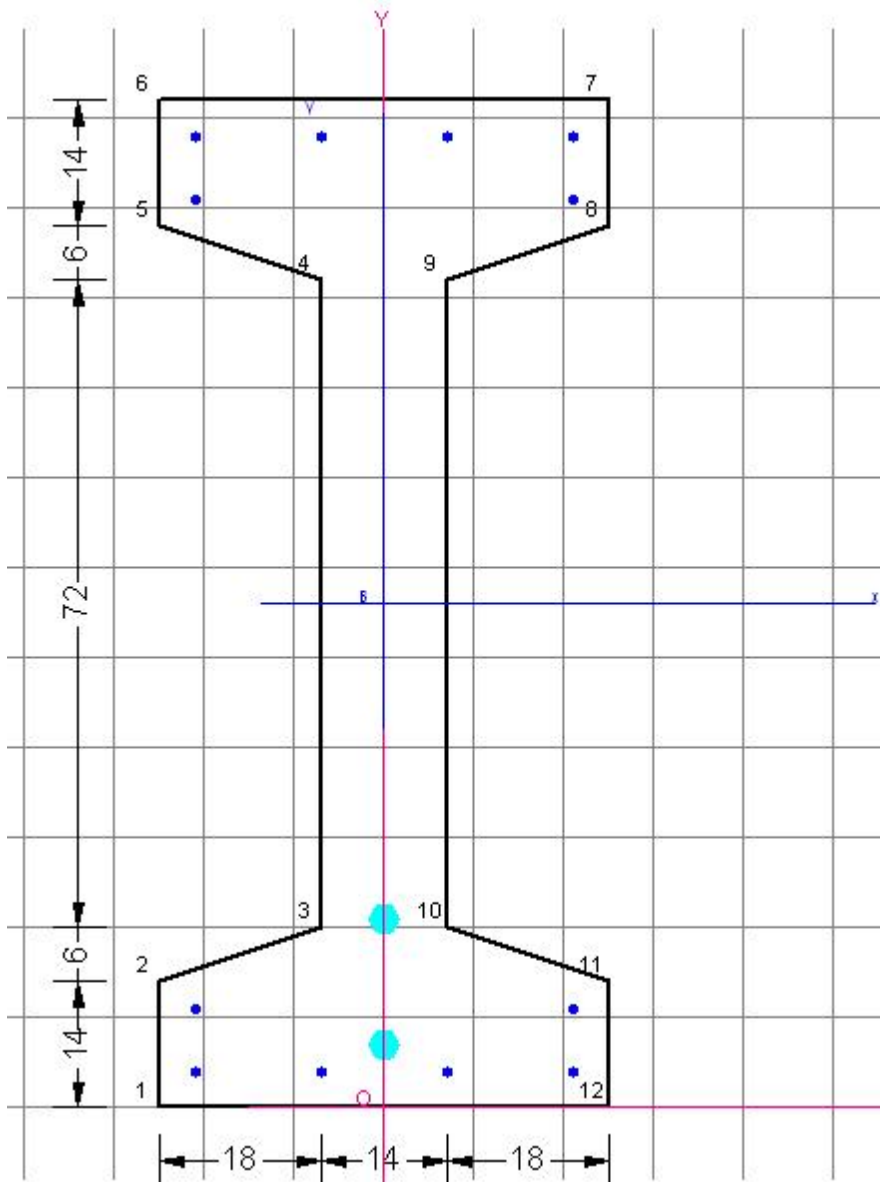
Diam. (mm) Passo (cm)

- Sez. Precompressa: va indicato se la sezione se eventualmente la trave originaria è precompressa.
- Forma sezione: ricordando che le sezioni predefinite possono appartenere solo a travi, in questo elenco a discesa va operata la scelta di una tra le forme previste per le sezioni predefinite: rettangolare, a T, T rovescia, rettangolare con flange, poligonale simmetrica. A seconda della scelta operata vengono visualizzate le caselle per l'immissione dei dati dimensionali.
- Tipo Conglomerato: il tipo di conglomerato è sempre quello che compare nella prima riga (riservata al calcestruzzo esistente) dell'apposita griglia nell'Archivio materiali⁴⁶.
- Tipo Acciaio: il tipo di acciaio è sempre quello che compare nella prima riga (riservata all'acciaio esistente) dell'apposita griglia nell'Archivio materiali⁴⁶.
- Dimensioni sezione: per ognuna delle forme previste compaiono le caselle dei relativi dati: la corrispondenza tra i dati numerici da immettere e la posizione del lato corrispondente è sempre presente nello schema grafico posto nella parte alta della scheda.
- C. ferro inf.- C. ferro sup.: copriferro (in cm) delle barre inferiori-superiori misurato dal baricentro delle barre longitudinali. Questo copriferro, comodo per il

posizionamento delle barre nella sezione, va assegnato sulla base della conoscenza delle caratteristiche della sezione esistente.

- Barre inferiori: va indicato il loro numero ed il loro diametro in mm. Su questa stessa fila di armature possono prevedersi anche barre di due diversi diametri ed in tal caso vanno completati gli ultimi due campi di immissione dati.
- Barre superiori: va indicato il loro numero ed il loro diametro in mm. Su questa stessa fila di armature possono prevedersi anche barre di due diversi diametri ed in tal caso vanno completati gli ultimi due campi di immissione dati.
- Staffe: possono assegnarsi staffe singole (2 bracci), doppie (4 bracci), singole+legatura (3 bracci), doppia+legatura(5 bracci).

2.3 Sezioni precomprese



Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi

Sezione predefinita iniziale

Sezione Precompressa ?

Poligonale simm. v

C45/55 v

Dati sezione calcestruzzo (in cm)

Bi	6		X verti
Hi		1	-25
Bs		2	-25
Hs		3	-7
		4	-7

Armature lente

Feb44k v

Barre Inferiori

n° Ø mm n°

Barre Superiori

n° Ø mm n°

Staffe

1 Staffa chiusa Braccio inter

2 Staffe chiusa

Diam. (mm) Passo (cm)

Armature di precompressione (Tensioni)

Tipo Acciaio: ?

Armature post-tese

N°	Ap [cm ²]	Y [cm]	S
1	8,40	7,0	
2	8,40	21,0	
3			

Le sezioni precomprese sono previste solo tra le varie forme delle sezioni predefinite. L'attivazione dell'input per le sezioni precomprese avviene nella finestra dei dati della

sezione iniziale (a destra in figura) attraverso la selezione dell'apposita casella Sez. Precompressa.

Tali sezioni possono essere calcolate sia come sezioni rinforzate con FRP (a taglio e/o flessione) sia senza assegnare alcun rinforzo ma semplicemente come calcolo di dimensionamento o di controllo senza, tuttavia, esaurire tutte le verifiche necessarie nelle molteplici fasi previste per un calcolo completo per le quali è necessario un programma specializzato. In particolare questo programma consente di effettuare una verifica al tiro iniziale, una finale a perdite esaurite ed una successiva per un eventuale rinforzo FRP (o lamina in acciaio) applicato.

E' anche possibile assegnare una soletta di completamento in calcestruzzo armato non precompresso considerandola come un rinforzo in c.a.. Questa possibilità è configurabile nell'apposita scheda Rinforzi²⁵ in cui possono essere immesse anche le eventuali barre di armatura lenta poste a quota intermedia nella sezione (come nell'esempio in figura).

Nella parte inferiore della scheda dati in figura vanno assegnati:

- il nome del tipo di acciaio armonico assegnato nell'archivio materiali⁴⁶
- il modulo elastico E_c e la resistenza f_{ck} del cls. al momento del tiro
- l'indicazione se l'armatura è post-tesa (in assenza di selezione l'armatura verrà considerata pre-tesa): nel calcolo al tiro non verrà considerata (o considerata nel caso di pre-tesa) la deformazione elastica della sezione al tiro
- per ogni livello di armature pre-tese (o per ogni cavo post-teso) andrà indicata l'area, l'ordinata, la tensione al tiro e quella finale a perdite esaurite (da valutare esternamente al programma)

2.4 Sezioni generiche iniziali

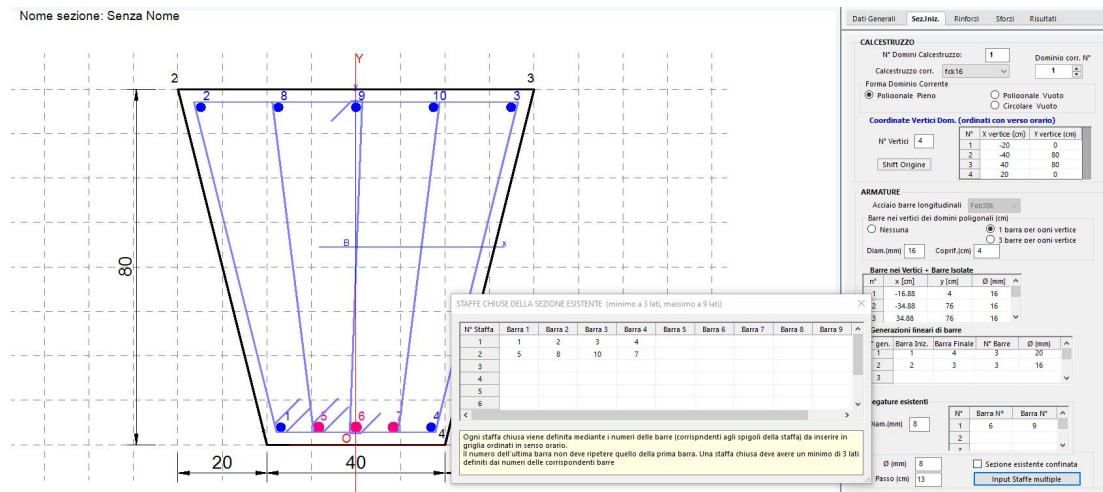
Le sezioni generiche iniziali possono essere costituite da uno o più domini di calcestruzzo (fino a 10 comprensivi di eventuali domini di rinforzo aggiunti) ognuno dei quali può avere forma poligonale o circolare. In questa finestra va assegnata la sola geometria iniziale della sezione esistente e le relative barre armature già presenti prima del rinforzo.

Ogni dominio può essere di tipo pieno o vuoto (le sezioni cave non sono però verificabili a taglio). Le barre possono essere assegnate singolarmente o generate automaticamente dal programma sulla base di appositi dati più avanti illustrati.

E' importante definire prima delle armature il numero e la forma (poligonale o circolare) dei domini di conglomerato, in quanto una successiva modifica di tale forma determina l'annullamento di tutte le armature già assegnate e la necessità di una loro nuova definizione.

Al fine di accelerare l'inserimento delle armature evitando di dover fornire manualmente tutte le coordinate dei baricentri delle singole barre conviene assegnare, per prima cosa, una barra in ogni vertice del dominio poligonale mediante l'apposito pulsante (3 barre per ogni vertice in figura). L'inserimento avverrà automaticamente sulla base del copriferro indicato nell'apposita casella il cui valore può essere modificato anche successivamente. Detto copriferro va sempre attentamente valutato ed inserito (anche nel caso di importazione della sezione e delle armaure da file grafico .dxf) in quanto dato fondamentale nelle verifiche a taglio ed apertura delle fessure.

Le eventuali barre intermedie lungo i lati vanno assegnate mediante una o più generazioni lineari di barre (barre rosse in figura).



- N° Domini calcestruzzo: il numero massimo dei domini di calcestruzzo è 10 (comprensivi però anche di quelli di rinforzo da aggiungere nella scheda dei rinforzi). Vanno considerati come domini anche le eventuali cavità delle sezioni. La sezione in figura è costituita da un solo dominio poligonale pieno.
- Dominio corr. N°: va selezionato tramite gli appositi pulsanti il dominio per il quale assegnare nuovi dati o modificare i dati precedentemente assegnati. Alla prima apertura della finestra per una nuova sezione compare come dominio N° 1 una sezione a forma trapezoidale che può essere completamente modificata assegnando un diverso numero di vertici e le relative coordinate mediante l'apposita griglia.
- Tipo congl. corr.: il primo dominio di calcestruzzo è sempre il primo della griglia dei vari tipi di conglomerato definiti nell'archivio materiali. Nel caso di dominio vuoto è importante, per la correttezza del successivo calcolo effettuato dal programma, selezionare lo stesso tipo di conglomerato assegnato al dominio pieno in cui è compreso.
- Poligonale pieno: da assegnare successivamente mediante l'indicazione del numero dei vertici (max 20) e delle corrispondenti coordinate riferite agli assi generali X, Y. Nel caso in cui la sezione generica da calcolare sia costituita da un solo dominio con la stessa forma di una delle sezioni predefinite si può evitare l'input delle coordinate iniziando il calcolo con la tipologia di sezione predefinita per poi tornare nella scheda dei dati generali e selezionare la tipologia delle sezioni generiche.
- Poligonale vuoto: può essere definito (sempre tramite il n. di vertici e le loro coordinate) vuoto solo un dominio successivo al N° 1. La classe del calcestruzzo da assegnare al dominio vuoto deve essere la stessa del dominio pieno in cui è compreso.
- Circolare vuoto: può essere definito vuoto solo se successivo al dominio N° 1.
- N° Vertici: definisce il numero dei vertici (senza conteggiare due volte il primo vertice) di un qualsiasi dominio poligonale. Questo numero può variare da 3 a 30. Il numero d'ordine di ciascun vertice è visualizzato nella finestra grafica se nelle opzioni di visualizzazione presenti nel pannello situato inferiormente alla finestra grafica risulta selezionata la casella dei numeri di vertice. Passando col mouse sui vertici del dominio poligonale vengono evidenziate nella apposita griglia le corrispondenti coordinate rendendo in tal modo semplice la loro modifica interattiva.
- Coordinate Vertici Dom.: le coordinate (in cm.) rispetto al sistema di riferimento generale X, Y sono quelle dei vertici del dominio corrente numerati con ordine crescente lungo il contorno della poligonale da percorrere in senso

orario. L'inserimento o la modifica dei valori numerici delle coordinate nella griglia dati è riportato interattivamente nella finestra grafica dell'applicazione onde consentire un immediato controllo visivo.

- Tipo Acciaio: il tipo di acciaio da impiegare per tutte le barre della presente sezione iniziale (non è ammesso l'uso di più tipi di acciaio) è sempre quello della prima riga della griglia dei tipi di acciaio dell'archivio materiali.
- Opzione Barre nei vertici dei domini: consente la generazione automatica di una o tre barre in ogni vertice dei domini poligonali assegnati. Le barre, il cui diametro è da specificare nella medesima cornice riguardante le barre nei vertici, vengono generate in modo tale che la distanza del loro baricentro dai lati del dominio risulti uguale a quella indicata come copriferro (misurato dal baricentro delle barre) nell'apposito campo dati. Nel caso di tre barre generate in ogni vertice può essere assegnato/modificato anche l'interferro netto tra le barre. Le coordinate di tutte le barre generate nei vertici unitamente al numero loro attribuito dal programma vengono esposte per prime nella griglia delle barre nei vertici e barre isolate (v. Figura) in cui possono essere, successivamente, modificati i valori delle coordinate e dei diametri delle barre. Ogni barra generata viene numerata e visualizzata (insieme al suo numero) nella finestra grafica in modo da poter costituire un estremo per una successiva generazione lineare di barre.
- Copriferro: il valore assegnato in questa casella di input viene direttamente utilizzato nella verifica dell'apertura delle fessure e nella determinazione dell'altezza utile nella verifica a taglio. Nel caso in cui la geometria della sezione e le barre di armatura vengano importata da file grafico .dxf il valore del copriferro va assegnato manualmente (cioè va sostituito al valore 4 di default - che non viene modificato dall'input da file - in base all'effettivo valore che si vuole assegnare alla sezione e che verrà utilizzato nel calcolo.
- Griglia Barre nei vertici e barre isolate: in questa griglia vengono esposte nelle prime righe i dati delle le barre nei vertici dei domini poligonali generate automaticamente dal programma in seguito al comando descritto nel punto precedente. Solo in un secondo tempo vanno inseriti i dati di eventuali altre barre isolate, per le quali vanno assegnate le coordinate (in cm.) ed il diametro (in mm.). Naturalmente se non si prevedono barre nei vertici la griglia è interamente disponibile per le barre isolate. La somma del numero di barre nei vertici + quello delle barre singole non può superare 300. Nella Fig. le prime 4 barre di vertice sono state generate automaticamente (per prime) selezionando una barra per ogni vertice. Le ulteriori barre intermedie (in rosso e verde) sonostate generate automaticamente (senza fornire le coordinate) mediante generazioni lineari di barre il cui input è illustrato nel punto seguente.
- Generazione lineare di barre: una generazione lineare di barre è costituita da una o più barre dello stesso diametro da inserire all'interno dell'allineamento definito da due barre isolate già assegnate (o da due barre già generate nei vertici del dominio). Le barre così generate sono equidistanti tra loro e con le barre di estremità. Nell'apposita griglia di input ad ogni riga corrisponde una generazione lineare da assegnare mediante il numero della barra iniziale di estremità (non appartenente alle barre da generare), il numero della barra finale (non appartenente alle barre da generare), il N° di barre da generare (escluse quelle di estremità già assegnate), il diametro in mm unico per tutte le barre da generare. E' possibile inserire fino a 100 generazioni lineari di barre (il numero complessivo massimo di barre della sezione non deve però superare 2000). Nell'esempio di Fig. sono state assegnate due generazioni lineari (barre in rosso e verde).
- Legature esistenti: la singola legatura esistente può essere generata digitando il numero (visualizzato nella finestra grafica per ogni barra) delle due

barre che la compongono nell'apposita griglia (nell'esempio è stata assegnata una legatura tra le barre n. 6 e 9.

- Diametro e passo staffe. Assegnando il numero di barre per ogni vertice viene generata in automatico una prima staffa chiusa perimetrale. Dopo avere generato ulteriori barre longitudinali è possibile sia aggiungere legature congiungenti a due a due le barre sia aggiungere ulteriori staffe chiuse selezionando il comando "Input Staffe multiple" che apre una finestra con griglia in cui immettere (in ordine orario) i numeri delle barre che definiscono le nuove eventuali staffe chiuse. E' prevista la possibilità, per le sezioni appartenenti a pilastri, di tener conto del confinamento delle staffe nei calcoli di duttilità.

•

2.5 Sezioni rettangolari o circolari di pilastri

Per le sezioni rettangolari e circolari dei pilastri (le più diffuse nelle applicazioni correnti) si è predisposta una apposita tipologia di calcolo che, a partire da un input più rapido della geometria del conglomerato della sezione (rispetto a quello delle sezioni generiche), consente la verifica in regime di presso-flessione deviata.

Dati Generali
Sez.Iniz.
Rinforzi
Sforzi
Risultati

Geometria e calcestruzzo sezione iniziale

Forma Dominio Corrente

Sezione Rettangolare
 Sezione Circolare

Calcestruzzo: fck16

Lato X Pilastro (cm) 30.0

Lato Y Pilastro (cm) 50.0

ARMATURE

Acciaio barre longitudinali Feb38k

Barre nei vertici dei domini poligonali (cm)

Nessuna 1 barra per ogni vertice
 3 barre per ogni vertice

Diam.(mm) 14 Coprif.(cm) 4

Barre nei Vertici + Barre Isolate

n°	x [cm]	y [cm]	Ø [mm]	▲
1	-11	-21	14	
2	-11	21	14	
3	11	21	14	▼

Generazioni lineari di barre

N° gen.	Barra Iniz.	Barra Finale	N° Barre	Ø (mm)	▲
1	1	4	1	14	
2	2	3	1	14	
3	1	2	1	14	▼

Legature esistenti

Diam.(mm) 8

N°	Barra N°	Barra N°	▲
1			
2			
3			▼

Ø (mm) 8

Passo (cm) 15.0

Input Staffe multiple

La finestra di input è in pratica la stessa di quella delle sezioni generiche (al cui paragrafo si rimanda per l'illustrazione) ma con la semplificazione concernente la geometria del conglomerato qui ridotta ai soli dati di base ed altezza (al posto dei domini assegnati). Nel caso di sezione iniziale di recente realizzazione con staffe e legature confinanti è possibile tener conto di questo iniziale confinamento (nei soli calcoli di duttilità) selezionando l'apposita casella (ultima in basso nella finestra): i dati di confinamento (resistenza massima ed ultima, deformazione ultima ed alla massima

resistenza), però, dovranno essere calcolati esternamente al programma ed immessi tra i dati del calcestruzzo nell'archivio materiali⁴⁶.

2.6 Rinforzi sezioni predefinite

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Rinforzi FRP longitudinali a flessione
 Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

	N° Strisce	N° Strati
Rinforzo Inferiore	1	3
Rinforzo Superiore		

Tipo di delaminazione FRP
 Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)
 Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio
 Nessun rinforzo Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1
 Disposizione ad U
 Disposizione avvolgente

Larghezza striscia (cm) Passo strisce (cm)
 N° strati sovrapposti Raggio spigoli (cm)

Fasciatura FRP perimetrale di confinamento
 Nessun rinforzo Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1
 Fasciatura discontinua
 Fasciatura continua

Larghezza striscia (cm): 16.0 Passo Strisce (cm) 25
 N° strati sovrapposti: 1 Raggio spigoli (cm) 2.0

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Solette calcestruzzo aggiunte (super. e/o infer.)

Scelta Calcestruzzo aggiuntivo

Base Inf. (cm) Spessore Inf. (cm)

Base Sup (cm) Spessore Sup. (cm)

Spessore Camicia di confinamento (cm)

Barre longitudinali in acciaio aggiunte

Barre passanti oltre i nodi (incremento resistenza flessione)
 Barre non passanti oltre i nodi (solo per confinamento)

Acciaio per Barre Longit.i e/o Staffe aggiunte

N° barre	Ø [mm]	Y[cm]
4	14	-5

Lamine (Placcaggio a flessione) in acciaio aggiunte (super. e/ infer.)

Acciaio per Lamine di placcaggio

Base Inf (cm) Spessore Inf. (cm)

Base Sup (cm) Spessore Sup. (cm)

Staffe in acciaio aggiunte per taglio e confinamento

N° Bracci Tipo acciaio

Diametro (mm) Passo (mm) d(cm)

Bande/Nastri in acciaio per taglio e confinamento

Tipo acciaio per Bande/ Nastri

Altezza sez. (cm) Passo (cm)

Largh. nastro (cm) Spessore nastro (cm)

Raggio spigoli (cm)

Per le sezioni predefinite sono disponibili le due schede soprariportate relative ai possibili rinforzi. La scheda a sinistra comprende i possibili rinforzi FRP, quella di destra i rinforzi in calcestruzzo ed acciaio. In generale le due schede sono una alternativa all'altra nel senso che i rinforzi in FRP sono alternativi a quelli in c.a. e quindi per una stessa sezione si utilizzerà una sola delle due schede. Nel seguito si indicheranno con CNR2013 le Linee Guida CNR-DT200-2013 [3²⁴⁰]; si rimanda al capitolo 3 delle suddette CNR2013 per l'approfondimento dei concetti basilari del progetto di rinforzo con FRP.

RINFORZI FRP

Si premette che per l'efficacia di questo tipo di rinforzo è opportuno che il calcestruzzo su cui si effettua l'applicazione del tessuto/lamina in FRP abbia una resistenza f_c superiore a 15.0 N/mm^2 e che l'applicazione sia di tipo "professionale" e che, nel caso di rinforzi a flessione, siano sempre predisposte fasciature nelle zone terminali del rinforzo per evitare la delaminazione di estremità (cfr. [8^[240]]).

Rinforzo longitudinale a flessione: viene utilizzato in genere per incrementare il momento resistente delle travi nelle zone interne delle campate a momento positivo in quanto le difficoltà di ancoraggio in caso di momento negativo ne rendono difficoltoso l'impiego. La necessità di soluzioni costruttive idonee (§4.2.2.3 CNR2013) per l'attivazione di questo tipo di rinforzo nelle zone nodali dei pilastri (oltre alla riduzione di duttilità per la limitata deformabilità a rottura) ne rende alquanto problematica l'applicazione specie nei rinforzi di tipo sismico.

L'input consiste anzitutto nella scelta del tipo di rinforzo tra quelli definiti nell'Archivio materiali^[46], quindi nel definire il numero di strisce e di strati di tessuto o lamina da applicare al lato inferiore o superiore della sezione, La larghezza e lo spessore dell'FRP vengono definiti nell'Archivio materiali insieme agli altri dati forniti dalla documentazione tecnica del produttore.

Il programma produce un messaggio di errore nel caso in cui la somma delle larghezze delle strisce dovesse superare la larghezza del lato su cui esse vanno ad incollarsi.

Delaminazione di tipo 1 o 2: la resistenza a delaminazione di tipo 1 è quella che riguarda le zone estreme delle strisce di rinforzo a flessione (§4.1.3 CNR2013); il suo valore è piuttosto basso e limita molto l'efficacia del rinforzo a meno che i valori del momento sollecitante siano piuttosto bassi (momento positivo nelle estremità delle campate per rinforzo al lembo inferiore). Se la sezione da verificare si trova, invece, nella zona centrale delle strisce di rinforzo va scelta la delaminazione di tipo 2 (intermedia) molto meno penalizzante ma che deve affrontare i massimi momenti flettenti.

Rinforzo FRP a taglio (§4.3 CNR2013): qui le strisce del rinforzo sono pensate orientate sempre ortogonalmente all'asse della trave e possono essere applicate con disposizione ad U o in avvolgimento completo intorno alla sezione. La disposizione ad U viene utilizzata quasi sempre per le travi (fino all'eventuale intradosso quando non è possibile quella in avvolgimento) mentre quella in avvolgimento per i pilastri specialmente per il loro adeguamento/miglioramento sismico. Dopo aver scelto il tipo di rinforzo FRP da impiegare vanno assegnati i valori relativi alla larghezza delle singole strisce, al loro passo ed al numero di strati sovrapposti. Nel caso si voglia realizzare un rinforzo continuo, cioè senza spazi tra una striscia e la successiva, basta porre il passo uguale alla larghezza della striscia. Gli spigoli della sezione da rinforzare devono essere arrotondati con un raggio minimo di 2 cm.

Fasciatura FRP di confinamento (§4.5 CNR2013 solo per sezioni rettangolari o circolari): incrementa la resistenza ultima di pilastri sollecitati prevalentemente a sforzo normale (interventi di riparazione locali per pilastri degradati o sottodimensionati), e soprattutto aumenta la duttilità in curvatura di pilastri pressoinflessi da adeguare/migliorare sismicamente. I dati da assegnare ed i materiali da impiegare sono sostanzialmente gli stessi di quelli già illustrati per il rinforzo a taglio in avvolgimento. Per il rinforzo sismico, anche se la conformazione di questo rinforzo è la stessa di quella del rinforzo a taglio, si ritiene che le fasce di FRP dedicate al confinamento vadano sommate a quelle dedicate all'incremento della resistenza a taglio. Altra importante caratteristica della fasciatura di confinamento è ritenuto efficace solo se il suo

dimensionamento assicuri una pressione efficace di confinamento maggiore del 5% della fcd del calcestruzzo del pilastro.

RINFORZI IN C.A. - PLACCAGGI CON LAMINE IN ACCIAIO - BANDE/NASTRI IN ACCIAIO

Solette in c.a. inferiori/superiori aggiunte (e incamiciatura per pilastri): l'aggiunta di solette nelle travi può essere utilizzata per incrementare l'altezza utile allo scopo di aumentarne la portanza, sia nel caso in cui il degrado delle barre di armatura consigli di aggiungerne di nuove. Nel caso dei pilastri sia prevalentemente compressi e degradati (riparazione locale), sia da adeguare/migliorare sismicamente è molto valida la tecnica dell'incamiciatura in cui oltre alle due solette superiore ed inferiore viene effettuato il getto di spessori laterali a configurare una camicia in c.a. che grazie al confinamento conferisce un grande incremento in duttilità, in resistenza a taglio, resistenza a compressione (a flessione solo se le barre longitudinali aggiunte sono passanti, attraverso i nodi, nei pilastri dei piani adiacenti).

I dati da inserire sono (oltre alla classe del calcestruzzo da impiegare) le dimensioni delle solette rettangolari superiore e/o inferiore alla sezione predefinita iniziale. Nel caso si voglia incamiciare la sezione (rettangolare o circolare) basterà inserire lo spessore laterale di confinamento (gli spessori superiore ed inferiore delle solette possono essere diversi). L'aggiunta di solette determina la necessità di utilizzare dei connettori (o pioli) per assorbire lo scorrimento (calcolato dal programma) che si sviluppa allo SLU tra la soletta e la sezione iniziale

Barre longitudinali di acciaio aggiunte: si considerano passanti se vanno considerate o meno nel calcolo della resistenza flessionale in dipendenza della sufficienza del loro ancoraggio terminale. Diversamente vanno definite non passanti. Nel caso ad esempio di rinforzo nella zona centrale di una trave è sempre possibile prolungare le barre fino a rendere sufficiente l'ancoraggio e quindi la loro collaborazione in perfetta aderenza con la sezione preesistente. Nel caso dei pilastri l'incamiciatura può essere limitata al singolo piano nel caso di pilastri degradati (o insufficienti) prevalentemente compressi: in questo caso le barre aggiunte non collaborano alla resistenza a pressoflessione ma servono solo a fissare le staffe che determinano il confinamento del vecchio pilastro e quindi un suo incremento di resistenza alla sola compressione per gli sforzi preesistenti. Nel caso di adeguamento/miglioramento sismico la camicia in c.a. può, anche qui, essere limitata al singolo piano (e quindi le barre longitudinali sono non passanti) se occorre solo un incremento di duttilità e resistenza a taglio (caso in cui la resistenza a pressoflessione della sezione iniziale sia sufficiente); ma se occorre anche un consistente aumento della resistenza flessionale le barre longitudinali possono essere passanti a condizione di essere prolungate oltre i solai e collegarsi, mediante manicotti filettati, alle corrispondenti barre del pilastro superiore ed inferiore. La selezione di questa opzione di calcolo è, quindi, di fondamentale importanza per l'esito del calcolo della sezione rinforzata.

Lamine in acciaio aggiunte: il placcaggio con lamine in acciaio è previsto (sul lembo inferiore e/o superiore della sezione) per tutte le sezioni predefinite ad eccezione di quelle circolari. Una volta scelta la qualità dell'acciaio dall'archivio materiali⁴⁶⁾ vanno assegnate le dimensioni (larghezza e spessore) della lamina. Per assicurare la perfetta aderenza (ed il rispetto quindi dell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane) non basta affinarsi all'incollaggio con resina epossidica ma occorre predisporre dei connettori a taglio (pioli) da dimensionarsi sul valore dello scorrimento unitario fornito dai risultati del programma.

Staffe in acciaio aggiunte per taglio e confinamento: vanno sempre inserite nel caso di incamiciatura sopra illustrato ed hanno la doppia funzione di confinamento ed

incremento della resistenza a taglio; nel caso di semplice rinforzo a taglio di travi possono impiegarsi barre rettilinee filettate in acciaio inserite in apposite forature verticali della trave e poi serrate sopra e sotto la trave mediante piastre, rondelle e dadi. Nel caso di placcaggio con lamina in acciaio gli stessi connettori possono essere prolungati per tutta l'altezza della trave e svolgere così anche la funzione di rinforzo a taglio. Per definire le staffe vanno assegnati: il n° di bracci, il diametro e il passo. Nel caso delle travi in cui non è necessario il confinamento si può evitarne il calcolo selezionando l'apposita casella.

Bande/Nastri in acciaio per taglio e confinamento: si utilizzano in genere per la cerchiatura di pilastri a sezione rettangolare (rinforzo di confinamento e taglio) previo incollaggio (anche con malta cementizia) di quattro angolari disposti per tutta l'altezza di piano del pilastro e successiva saldatura o serraggio delle bande (calastrelli) a formare anelli orizzontali disposti ad un prefissato passo. Al posto delle bande vengono oggi molto usati nastri pretesi di acciaio ad alta resistenza (Metodo CAM vedi [7]²⁴⁰). Nel caso di rinforzo a taglio di travi di altezza superiore allo spessore del solaio possono impiegarsi nastri che cerchiano (mediante apposite forature) la sezione della trave escludendo lo spessore del solaio impegnando così un'altezza utile della trave ridotta. Nel caso di pilastri totalmente cerchiati occorre pertanto inserire, nei dati di input, l'altezza utile totale della sezione mentre nel caso di travi con nastri che impegnino solo parzialmente detta altezza occorre assegnare la effettiva altezza utile ridotta. Gli altri dati da assegnare riguardano il tipo di acciaio, spessore, larghezza e passo delle bande o dei nastri. Nel caso di nastri sovrapposti indicare lo spessore complessivo.

2.7 Rinforzo nodo trave-pilastro

La crisi dei nodi è quasi sempre la prima causa di crisi fragile dell'edificio soggetto a forze sismiche incrementali. Il rinforzo dei nodi costituisce pertanto l'intervento preliminare a tutte le altre opere di rinforzo delle costruzioni esistenti. Ciò è dovuto al fatto che la maggior parte delle costruzioni esistenti, anche se edificate in zone sismiche, non presenta alcuna staffatura all'interno dei nodi trave-pilastro. Infatti la normativa tecnica ne ha trascurato l'importanza fino alle NTC 2008 quando finalmente ne ha fissato le norme per il dimensionamento per le costruzioni in zona sismica. Nella Circolare del 2009 (§ C8.7.2.5) veniva successivamente indicata la verifica da effettuare per i nodi non rinforzati delle costruzioni esistenti e che costituisce il primo passo per stabilire se i singoli nodi siano da rinforzare o meno fissando, inoltre, il principio che per i nodi interni confinati da quattro travi non vi è obbligo di rinforzo.

La verifica del singolo nodo non confinato (sia esso interno che esterno) va condotta per ognuna delle travi che si innestano nel nodo; di conseguenza un nodo potrà dirsi verificato se si saranno soddisfatte le verifiche relative a tutte le travi interessate. In assenza di staffe nodali la verifica consiste nel controllo della tensione principale di compressione e di quella di trazione. Nel caso di mancata verifica della tensione di compressione il rinforzo parte dall'aumento delle dimensioni trasversale del nodo a mezzo ad esempio di apposita camicia in ca. Nel caso, invece, di sola mancata verifica a trazione diagonale possono essere impiegate varie tecniche di rinforzo (lamine o tessuti FRP, staffe orizzontali da camicia tra a camicia nodo, nastri in acciaio preteso, barre filettate parallele all'asse della trave sigillate previa foratura del nodo e ancorate con bulloni a piastra in acciaio esterna posta in aderenza al nodo).

I vari tipi di rinforzi previsti sono intesi come sostitutivi dei bracci di ipotetiche staffe paralleli da disporre parallelamente agli assi delle singole travi che si innestano nel nodo.

Una volta calcolata col programma la sezione predefinita di attacco al nodo appartenente alla trave esistente che si innesta nel nodo stesso, è possibile selezionare nella scheda dei risultati l'opzione "Nodo trave-pilastro: verifica e/o

rinforzo". Si apre quindi la finestra, di seguito riportata, che contiene gli ulteriori dati statici e geometrici per la verifica del nodo.

VERIFICA NODO PRIVO DI STAFFE E PROGETTO DEL RINFORZO (N.B. per singola trave)

Descrizione Nodo:

Tipo di nodo
 Nodo Esterno Nodo Interno

Dimensioni Pilastro
 Lato parallelo asse trave hc cm
 Lato ortogonale asse trave bc cm
 Copriferro barre pil. (dal baricentro) cm

Sforzi agenti sul Nodo
 Sforzo normale max sul nodo kN
 Sforzo normale min. sul nodo kN
 Taglio orizzontale min. sotto il nodo kN
 Taglio orizzontale min. sotto il nodo kN

Tipo di rinforzo
 Nessun rinforzo (Nodo esistente privo di staffe)
 Staffe orizzontali da camicia trave a camicia nodo
 Tessuto o lamina FRP
 Barre filettate // asse trave ed ancorate a piastra su nodo
 Nastri in acciaio preteso

Dati Rinforzo
 Scelta composito FRP
 Numero strati FRP
 N. Direzioni fibre del composito (1 o 4)

Tessuto o lamina in FRP applicata sulla faccia libera del nodo.

Risultati

Verifica Nodo privo di staffe non rinforzato
 Tens. principale di compressione N/mm² Verifica OK se < 5.2
 Tensione principale di trazione N/mm² Verifica OK se < 0.3

Nodo rinforzato Verificato
 Verifica Nodo rinforzato a Compressione Diagonale
 Compr. agente Vjbd (kN) Resistenza compress. (kN)

Metodo1: eq. [7.4.10] NTC
 N° strisce orizz.

Metodo2: eq. [7.4.11/12] NTC
 N° strisce orizz.

Area tot. strisce Area tot. strisce

In questo caso il nodo non rinforzato non risulta verificato in quanto la tensione principale di trazione supera la resistenza. Nella stessa finestra è quindi possibile selezionare il tipo di rinforzo ed effettuare la corrispondente verifica. In questo caso si è scelto il rinforzo in tessuto FRP quadriassiale (i cui dati statico-geometrici sono stati preventivamente inseriti nella finestra dell'archivio materiali) ottenendo verifica positiva.

La verifica a compressione diagonale risulta largamente soddisfatta come pure quella a trazione diagonale con 5 strisce orizzontali (essendo la singola striscia larga 10 cm e la trave alta 50 cm). Ma il programma segnala comunque la mancata verifica in quanto non si è provveduto a fasciare la sezione di attacco con tessuto FRP in quanto le Linee Guida CNR-DT 200 prevedono l'obbligo (una volta rinforzato il nodo con FRP) del confinamento della zona di attacco della trave al nodo per meglio garantire l'ancoraggio alla trave del tessuto di rinforzo. Per verificare definitivamente il rinforzo è quindi necessario riverificare la sezione prevedendo un generico rinforzo di confinamento FRP (che però non influisce direttamente nel calcolo del rinforzo nodale).

Si noti che per il calcolo del rinforzo il programma utilizza sempre entrambi i due metodi di calcolo indicati nelle equazioni (7.4.10) e (7.4.11) NTC scegliendo tra i due risultati

quello che comporta la minore area resistente del rinforzo. Il rinforzo con barre filettate e piastra in acciaio potrebbe essere utilizzato ad es. per nodo esterno interessato da una trave interna ortogonale alle altre due esterne (di facciata); in questo caso infatti non sarebbe possibile, alcun rinforzo da applicare sulla superficie esterna del nodo nella direzione della trave interna.

Nel caso di calcolo speditivo del rinforzo (come ad es. se si usa il metodo semplificato del sismabonus o si stanno eseguendo solo interventi locali senza il calcolo dell'intera struttura) si può assumere prudenzialmente nullo il taglio orizzontale sul nodo e la valutazione degli sforzi normali può essere svolta per semplici aree di influenza degli impalcati.

2.8 Rinforzi sezioni generiche

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio Tessuti/Lamine FRP

Rinforzi FRP longitudinali a flessione

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

	N° Strisce	N° Strati	1° Vertice	2° Vertice	
1	2	2	1	4	▲
2					▼

Tipo di delaminazione FRP

Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)

Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio

Nessun rinforzo ? Scelta del rinforzo FRP:

Disposizione avvolgente CFRP_1

Larghezza striscia (cm) Passo strisce (cm)

N° strati sovrapposti Raggio spigoli (cm)

Fasciatura FRP perimetrale di confinamento

Nessun rinforzo ? Scelta del rinforzo FRP:

Fasciatura discontinua CFRP_1

Fasciatura continua

Larghezza striscia (cm): Spessore Inf. (cm)

N° strati sovrapposti: Raggio spigoli (cm)

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Camicia rettangolare aggiunta
 Scelta Calcestruzzo aggiuntivo

? Sez. Incamiciata Spess. (cm) Coprif. (cm)

Rinforzi con barre longitudinali in acciaio
Barre longitudinali in acciaio aggiunte

Barre passanti oltre i nodi (incremento resistenza flessione)
 Barre non passanti oltre i nodi (solo per confinamento)

Acciaio per Barre Longit. e/o Staffe aggiunte

N°	Ø [mm]	X [cm]	Y [cm]	
5	16	-17	27.0	▲
6	16	17	27.0	▼

Lamine (Placcaggio a flessione) in acciaio aggiunte sui lati
 Acciaio per Lamine di placcaggio

N°	Largh. [cm]	Spess. [cm]	1° Vertice	2° Vertice	
1					▲
2					▼

Rinforzi con staffe trasversali in acciaio
Staffe chiuse (2 bracci) in acciaio per taglio e confinamento
 Diam, mm Passo, cm Acciaio

Input/Modifica Staffe aggiuntive

Incamiciatura con angolari e Bande/Nastri in acciaio
 No Incamiciatura Acciaio Bande/ Nastri
 Si Incamiciatura

Larghezza bande (cm) Passo bande (cm)
 Spessore bande (cm) Raggio spigoli (cm)

Per le sezioni generiche sono disponibili le due schede soprariportate relative ai possibili rinforzi. La scheda a sinistra comprende i possibili rinforzi FRP, quella di destra i rinforzi in calcestruzzo ed acciaio. In generale le due schede sono una alternativa all'altra nel senso che i rinforzi in FRP sono alternativi a quelli in c.a. e quindi per una stessa

sezione si utilizzerà una sola delle due schede. Nel seguito si indicheranno con CNR2013 le Linee Guida CNR-DT200-2013 [3²⁴⁶]; si rimanda al capitolo 3 delle suddette CNR2013 per quanto riguarda i concetti basilari del progetto di rinforzo con FRP.

RINFORZI FRP

Rinforzo longitudinale a flessione: viene utilizzato in genere per incrementare il momento resistente nelle zone interne della luce delle aste. La necessità di soluzioni costruttive idonee (§4.2.2.3 CNR2013) per l'attivazione di questo tipo di rinforzo nelle zone nodali dei pilastri (oltre alla riduzione di duttilità per la limitata deformabilità a rottura) ne rende alquanto problematica l'applicazione specie nei rinforzi di tipo sismico. L'input consiste anzitutto nella scelta del tipo di rinforzo tra quelli definiti nell'Archivio materiali⁴⁶, quindi nel definire il numero di strisce e di strati di tessuto o lamina da applicare al lato (o ai lati) della sezione definito dai due numeri di vertice del lato della sezione. La larghezza e lo spessore dell'FRP vengono definiti nell'Archivio materiali⁴⁶ insieme agli altri dati forniti dalla documentazione tecnica del produttore.

Delaminazione di tipo 1 o 2: la resistenza a delaminazione di tipo 1 è quella che riguarda le zone estreme delle strisce di rinforzo a flessione (§4.1.3 CNR2013); il suo valore è piuttosto basso e limita molto l'efficacia del rinforzo a meno che i valori del momento sollecitante siano piuttosto bassi (momento positivo nelle estremità delle campate per rinforzo al lembo inferiore). Se la sezione da verificare si trova, invece, nella zona centrale delle strisce di rinforzo va scelta la delaminazione di tipo 2 (intermedia) molto meno penalizzante ma che deve affrontare i massimi momenti flettenti.

Rinforzo FRP a taglio (§4.3 CNR2013): è previsto solo per sezioni poligonali convesse; qui le strisce del rinforzo sono pensate orientate sempre ortogonalmente all'asse della trave (o del pilastro) e possono essere applicate con disposizione ad U o in avvolgimento completo intorno alla sezione. La disposizione ad U viene utilizzata quasi sempre per le travi (fino all'eventuale intradosso quando non è possibile quella in avvolgimento) mentre quella in avvolgimento viene sempre impiegata per i pilastri specialmente per il loro adeguamento/miglioramento sismico. Dopo aver scelto il tipo di rinforzo FRP vanno assegnati i valori relativi alla larghezza delle singole strisce, al loro passo ed al numero di strati sovrapposti. Nel caso si voglia realizzare un rinforzo continuo, cioè senza spazi tra una striscia e la successiva, basta porre il passo uguale alla larghezza della striscia. Gli spigoli della sezione da rinforzare devono essere arrotondati con un raggio minimo di 2 cm.

Fasciatura FRP di confinamento (§4.5 CNR2013 solo per sezioni rettangolari): incrementa la resistenza ultima di pilastri sollecitati prevalentemente a sforzo normale (interventi di riparazione locali per pilastri degradati o sottodimensionati), e soprattutto aumenta la duttilità in curvatura di pilastri pressoinflessi da adeguare/migliorare sismicamente. I dati da assegnare ed i materiali da impiegare sono sostanzialmente gli stessi di quelli già illustrati per il rinforzo a taglio in avvolgimento. Per il rinforzo sismico, anche se la conformazione di questo rinforzo è la stessa di quella del rinforzo a taglio, si ritiene che le fasce di FRP dedicate al confinamento vadano sommate a quelle dedicate all'incremento della resistenza a taglio. Altra importante caratteristica della fasciatura di confinamento è ritenuto efficace solo se il suo dimensionamento assicuri una pressione efficace di confinamento maggiore del 5% della f_{cd} del calcestruzzo del pilastro.

RINFORZI IN C.A.- PLACCAGGI CON LAMINE IN ACCIAIO - BANDE/NASTRI IN ACCIAIO

Domini poligonali in c.a. (a 4 lati) aggiunti (o incamiciatura per pilastri): l'incamiciatura di pilastri in c.a. di spessore assegnato è alternativa all'aggiunta di uno o più domini di calcestruzzo (solo quadrilateri) assegnati mediante le coordinate dei 4 vertici. Nel caso dei pilastri, sia prevalentemente compressi e degradati (riparazione locale), sia da adeguare/migliorare sismicamente, è molto valida la tecnica dell'incamiciatura in c.a. che grazie al confinamento conferisce un grande incremento in duttilità, resistenza a taglio, resistenza a compressione (ed a flessione solo se le barre longitudinali aggiunte sono passanti, attraverso i nodi, nei pilastri, anch'essi incamiciati, dei piani adiacenti).

I dati da inserire sono (oltre alla classe del calcestruzzo da impiegare) le dimensioni delle solette rettangolari superiore e/o inferiore alla sezione predefinita iniziale. Nel caso si voglia incamiciare la sezione (rettangolare o circolare) basterà inserire lo spessore laterale di confinamento (gli spessori superiore ed inferiore delle solette possono essere diversi).

Barre longitudinali di acciaio aggiunte: si considerano passanti o meno se vanno considerate o meno nel calcolo della resistenza flessionale in dipendenza della sufficienza o meno del loro ancoraggio terminale. Nel caso ad esempio di rinforzo nella zona centrale di una trave è sempre possibile prolungare le barre fino a rendere sufficiente l'ancoraggio e quindi la loro collaborazione in perfetta aderenza con la sezione preesistente. Nel caso dei pilastri l'incamiciatura può essere limitata al singolo piano nel caso di pilastri degradati o insufficienti prevalentemente compressi: in questo caso le barre aggiunte non collaborano alla resistenza a pressoflessione ma servono solo a fissare le staffe che determinano il confinamento del vecchio pilastro e quindi un suo incremento di resistenza alla sola compressione. Nel caso di adeguamento/miglioramento sismico la camicia in c.a. può, anche qui, essere limitata al singolo piano (e quindi le barre longitudinali sono non passanti) se occorre solo un incremento di duttilità e resistenza a taglio (caso in cui la resistenza a pressoflessione della sezione iniziale sia sufficiente); ma se occorre anche un consistente aumento della resistenza flessionale le barre longitudinali possono essere passanti a condizione di essere prolungate oltre i solai e collegarsi, mediante manicotti filettati, alle corrispondenti barre del pilastro superiore ed inferiore. La selezione di questa opzione di calcolo è, quindi, di fondamentale importanza per l'esito del calcolo della sezione rinforzata.

Lamine in acciaio aggiunte: il placcaggio con lamine in acciaio è possibile su singoli lati della sezione. Una volta scelta la qualità dell'acciaio dall'archivio materiali⁴⁶ vanno assegnate le dimensioni (larghezza e spessore) della lamina. Per assicurare la perfetta aderenza (ed il rispetto quindi dell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane) non basta affinarsi all'incollaggio con resina epossidica ma occorre predisporre dei connettori a taglio (pioli) da dimensionare fuori programma.

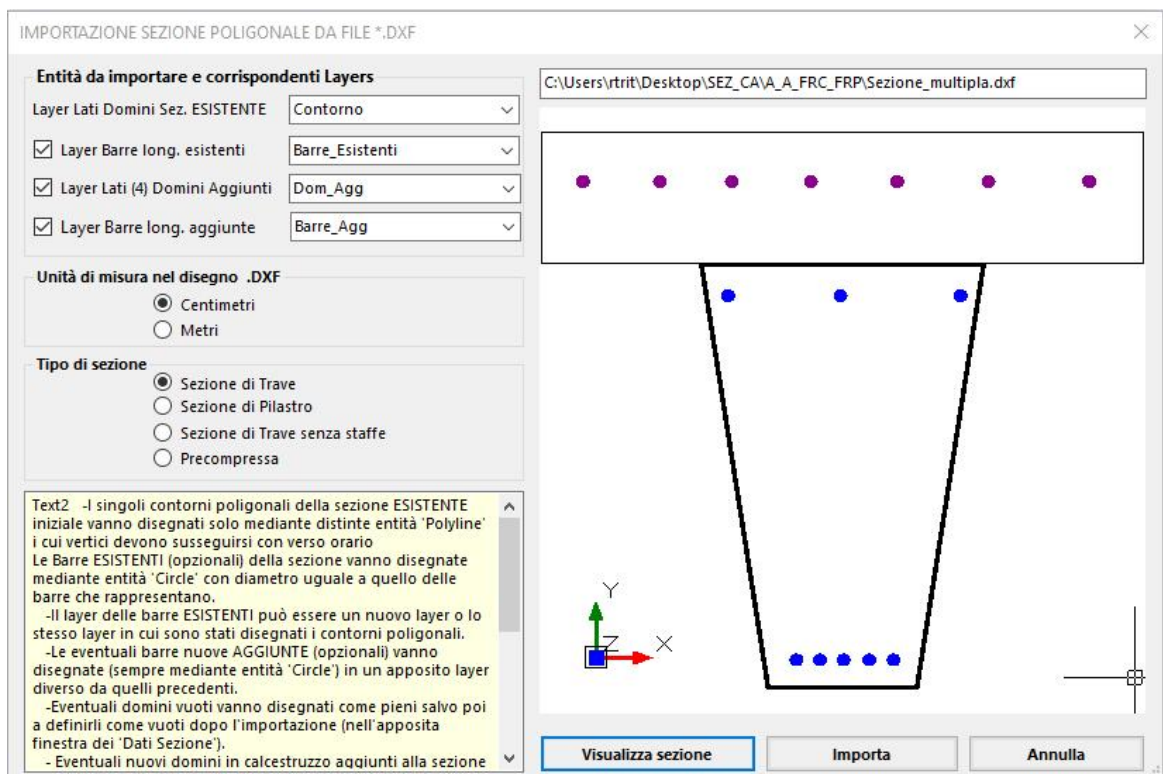
Staffe in acciaio aggiunte per taglio e confinamento: vanno sempre inserite nel caso di incamiciatura ed hanno la doppia funzione di confinamento ed incremento della resistenza a taglio; nel caso di semplice rinforzo a taglio di travi possono impegnarsi barre rettilinee filettate in acciaio inserite in apposite forature verticali della trave e poi serrate sopra e sotto la trave mediante piastre, rondelle e dadi. Nel caso di placcaggio con lamina in acciaio gli stessi connettori possono essere prolungati per tutta l'altezza della trave e svolgere così anche la funzione di rinforzo a taglio. Per definire le staffe vanno assegnati: il n. di bracci, il diametro e il passo. Nel caso delle travi in cui non è necessario il confinamento si può evitarne il calcolo selezionando l'apposita casella.

Bande/Nastri in acciaio per taglio e confinamento: si utilizzano in genere per la cerchiatura di pilastri a sezione rettangolare (rinforzo di confinamento e taglio) previo incollaggio (anche con malta cementizia) di quattro angolari disposti per tutta l'altezza

di piano del pilastro e successiva saldatura o serraggio delle bande (calastrelli) a formare anelli orizzontali disposti ad un prefissato passo. Al posto delle bande vengono oggi molto usati nastri pretesi di acciaio ad alta resistenza (Metodo CAM vedi [7²⁴⁰]). Nel caso di nastri sovrapposti indicare lo spessore complessivo.

2.9 Importazione sezione da file *.dxf

Sia il contorno poligonale dei domini esistenti ed aggiunti, sia le barre di armature esistenti ed aggiunte di sezioni generiche^[19] possono essere importate da file *.dxf mediante la seguente finestra di importazione attivabile dall'apposito comando nel menu File.



Il file di disegno importato in formato Dxf e denominato 'Sezione_multipla' è presente nella cartella 'ESEMPI' del programma.

Il dominio trapezoidale esistente è stato disegnato nel layer 'Contorno', il dominio rettangolare aggiunto è stato disegnato nel layer 'Dom_Agg', le barre esistenti (interne al trapezio) sono state disegnate nel layer 'Barre_Esistenti', le barre aggiunte nella soletta rettangolare sono state disegnate nel layer 'Barre_Agg'.

- I singoli contorni poligonali della sezione Esistente iniziale e di quella Aggiunta vanno disegnati solo mediante distinte entità 'Polyline' i cui vertici devono susseguirsi con verso orario
- Eventuali domini aggiunti poligonali vanno disegnati in un apposito layer distinto dagli altri.
- Le Barre Esistenti (opzionali) ed Aggiunte (opzionali) della sezione vanno disegnate mediante entità 'Circle' con diametro uguale a quello delle barre che rappresentano.

- Il layer delle barre Esistenti può essere un nuovo layer o lo stesso layer in cui sono stati disegnati i contorni poligonali Esistenti.
- Le eventuali barre nuove Aggiunte (opzionali) vanno disegnate (sempre mediante entità 'Circle') in un apposito layer diverso da quelli precedenti.
- Eventuali domini vuoti vanno disegnati come pieni salvo poi a definirli come vuoti dopo l'importazione (nell'apposita finestra dei 'Dati Sezione').
- Gli eventuali nuovi domini in calcestruzzo aggiunti alla sezione esistente devono essere in numero non superiore a 4 e con non più di 4 lati ognuno. Come già detto essi vanno disegnati su di un layer distinto dagli altri
- Eventuali nuove barre in acciaio aggiunte a quelle della sezione esistente devono essere in numero non superiore a 100. Esse vanno disegnate come cerchi su di un layer distinto dagli altri
- Si consiglia di disegnare la sezione in vicinanza dell'origine degli assi X,Y di riferimento. Ciò sia per una migliore visualizzazione della sezione nel programma che per evitare problemi numerici. Diversamente è sempre possibile riportare il baricentro della sezione nell'origine degli assi mediante il pulsante 'Shift' presente nella scheda 'Sezione Iniziale'

2.10 Importazione sforzi da file

E' possibile importare i valori degli sforzi da file di testo appositamente predisposti tramite la voce "Importazione sforzi da file di testo" presente nel menu File della finestra principale dell'applicazione. Compare quindi la seguente finestra di importazione:

IMPORTAZIONE SFORZI DA FILE DI TESTO

Seleziona file di testo: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Importazio ...

N° combinazioni SLU

N° comb. SLE rare

N° comb. SLE frequenti

N° comb. SLE quasi

Unità di misura N, Vx, Vy del file

kg, daN

kN

Tonnellate

Unità di misura LUNGHEZZE del

cm

m

FORMATO PRIMA RIGA
<Nslu>, <Nsle_rare>, <Nsle_freq.>, <Nsle_q.Per.>
(numero righe di comb. per ogni stato limite)
FORMATO SFORZI SINGOLA COMB. (SLU o SLE)
<N>, <Mx>, <My>, <Vx>, <Vy>, <T>
Porre = 0 gli sforzi non utilizzati dal programma (ad es. per sez. predefinite SLU assegnare solo N, Mx, 0, 0, Vy, T)
Usare solo il punto come separatore decimale degli sforzi.

Inversione segno sforzi

N Vx

Mx Vy

My T

I numeri che compongono il file di testo devono contenere il punto (non la virgola) come separatore decimale. I numeri di una stessa riga vanno separati dalla virgola o da uno spazio. Le righe vanno separate da un ritorno a capo (invio).
La prima riga deve contenere nell'ordine il numero di combinazioni SLU, SLE rare, SLE frequenti, SLE quasi permanenti riportate di seguito nelle righe successive. Gli sforzi da inserire nelle singole righe devono rispettare il formato indicato in questa finestra di importazione. Se ad esempio si vogliono far importare 2 comb. SLU ed una comb SLE quasi permanente la riga da digitare è: 2, 0, 0, 1
Tutte le righe successive hanno lo stesso formato costituito da 6 termini per riga: N, Mx, My, Vx, Vy, T per tutti gli sforzi sia SLU che SLE.

Importa **Esci**

I numeri che compongono il file di testo devono contenere il punto (non la virgola) come separatore decimale. I numeri di una stessa riga vanno separati dalla virgola o da uno spazio. Le righe vanno separate da un ritorno a capo (invio).

La prima riga deve contenere nell'ordine il numero di combinazioni SLU, SLE rare, SLE frequenti, SLE quasi permanenti riportate di seguito nelle righe successive. Gli sforzi da inserire nelle singole righe devono rispettare il formato indicato in questa finestra di importazione. Se ad esempio si vogliono far importare 2 comb. SLU ed una comb SLE quasi permanente la riga da digitare è: 2, 0, 0, 1.

Tutte le righe successive hanno lo stesso formato costituito da 6 termini per riga: N, Mx, 0, Vy, 0, 0, T per gli sforzi SLU delle sezioni predefinite (flessione retta con eventuale torsione) e N, Mx, My, Vx, Vy, 0 per gli sforzi SLU delle sezioni generiche (flessione deviata senza torsione).

Analogamente per i successivi sforzi allo SLE: N, Mx, 0, 0, 0, 0, 0 per le sezioni predefinite (flessione retta) e N, Mx, My, 0, 0, 0 per le sezioni generiche (flessione deviata). Ogni riga deve sempre contenere 6 numeri (anche se alcuni di essi sono necessariamente nulli).

Poichè le dimensioni degli sforzi importati può essere diversa da quelle utilizzate dal programma è necessario assegnare (nelle apposite opzioni) le dimensioni presenti negli sforzi da importare. Analoga assegnazione va fatta per i segni degli sforzi da importare. Allo scopo di invertire (o mantenere) correttamente il segno degli Sforzi nel file si ricorda che il programma considera positivi:

- Lo sforzo normale N di compressione.
- Gli sforzi di taglio V_x , V_y se diretti come gli assi principali d'inerzia positivi corrispondenti.
- Il momento M_x se comprime le fibre superiori della sezione (nel sistema di rifer. costituito dagli assi principali d'inerzia).
- Il momento M_y se comprime le fibre a destra della sezione (nel sistema di rifer. costituito dagli assi principali d'inerzia).

Di seguito si fornisce come esempio il seguente file di testo relativo ad una sezione generica con 2 comb. SLU ed 1 comb. SLE quasi permanente:

```
2,0,0,1
5000, 6000.9,2350,23200,10000,0
3500, 8000,4500,2000,0,5000
7000.58,4600.88,1500.3,0,0,0
```

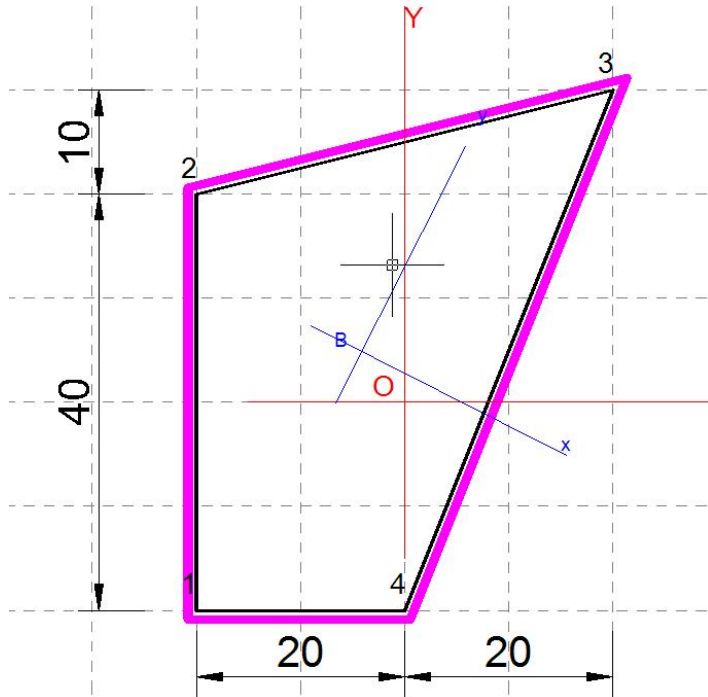
questo file è presente nella cartella 'ESEMPI' col nome 'Importazione_Sforzi' e può essere caricato in una qualsiasi sezione generica o di pilastro rettangolare. Una volta caricato il file ed assegnate le relative dimensioni ed i segni delle convenzioni degli sforzi, si può selezionare il tasto 'Importa' e quindi uscire da questa finestra di importazione. Gli sforzi saranno automaticamente visibili nella scheda sforzi.

2.11 Torsione semplice (con FRP)

Per la quarta tipologia di calcolo prevista nella scheda dei dati generali¹³ "torsione semplice (con FRP)" si è predisposta la finestra dati in figura.

E' prevista la scelta tra sezione rettangolare, circolare e poligonale convessa con la possibilità di definire uno spessore nel caso di sezione cava.

Vanno assegnati i dati delle armature trasversali e di quelle longitudinali a torsione appartenenti alla sezione esistente da rinforzare.



Dati Generali Sez.Iniz. Risultati

Materiale

Classe calcestruzzo: fck16

Tipo acciaio: Feb38k

Ctg Angolo Teta Bielle cls. 0.4<=Ctg(Teta)<=2.5: 2.00

Geometria sezione

Sezione rettangolare

Sezione circolare

Sezione poligonale

Sezione Cava

Coordinate Vertici Sez. (in senso orario)

N°Vertici	X vertice[cm]	Y vertice[cm]
1	20.0	-20.0
2	20.0	20.0
3	30.0	30.0
4	0.0	-20.0

Altezza (cm):

Armature a Torsione sezione iniziale

Diam Staffe (mm): 6 Passo St. a torsione: 20 cm

Area barre longitudinali solo per torsione: 12 cm²

Copriferro barre longitudinali (dal baric.): 4 cm

Armature a Torsione sezione iniziale

Scelta rinforzo: CFRP_1

Larghezza striscia (mm): 100 Passo strisce (cm): 20.0

N° strati sovrapposti: 1 Raggio spigoli(cm): 2.0

Momento torcente di calcolo

T: 21.00 kN

Il calcolo è valido solo per sezioni circolari o poligonali convesse e non per sezioni a profilo sottile aperto. Le staffe e le barre longitudinali metalliche assegnate sono quelle dedicate alla sola torsione e, nel caso di sezione soggetta anche a taglio e flessione, devono rappresentare solo la quota

Il rinforzo in FRP a torsione va definito in base alla modalità di applicazione delle strisce di tessuto FRP da avvolgere sul perimetro della sezione (larghezza, passo, n° strati e raggio di arrotondamento degli spigoli della sezione). Va infine immesso il valore di calcolo del Momento torcente finale T (in kNm).

Nel caso in cui la sezione sia contemporaneamente sollecitata a taglio la verifica complessiva della sezione va fatta (fuori dal programma) in base alla (4.29) delle CNR2013.

2.12 Sforzi applicati

La finestra per l'inserimento degli sforzi di calcolo da applicare alla sezione può essere aperta sia dal menu dati della finestra principale dell'applicazione sia (più rapidamente) selezionando direttamente la scheda Sforzi.

Questa finestra varia automaticamente a seconda della tipologia della sezione in esame e mostra nella sua parte superiore uno schema con le convenzioni positive degli sforzi da applicare nell'assegnazione degli sforzi di calcolo.

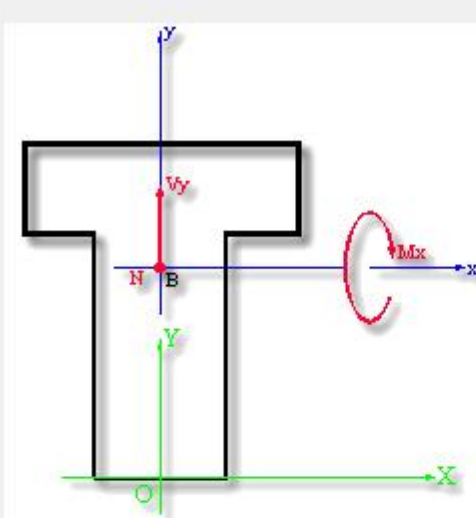
La finestra a sinistra (nella figura sottostante) si riferisce ad una sezione predefinita per la quale il riferimento degli sforzi B,x,y ha l'origine coincidente con il baricentro B della sezione iniziale (di solo conglomerato) ed è sempre parallelo al sistema fisso di riferimento O,X,Y.

La finestra di destra si riferisce invece ad una sezione generica (o rettangolare di pilastro) in cui il sistema di riferimento degli sforzi coincide sempre con gli assi principali d'inerzia della sezione di solo calcestruzzo della sezione iniziale.

Si noti che in entrambi i casi lo sforzo normale da assegnare è sempre applicato nel baricentro della sezione iniziale sia prima che dopo l'applicazione del rinforzo.

Per le sezioni generiche è possibile imporre un calcolo in flessione retta (assi principali d'inerzia sempre paralleli agli assi generali di riferimento X,Y) anche per sezioni non simmetriche.

Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi **Sforzi** Risultati



Convenzioni positive: Sforzi nel riferimento selezionato
Sf. normale N positivo di compressione

Tipo di flessione

RETTA ?

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm]

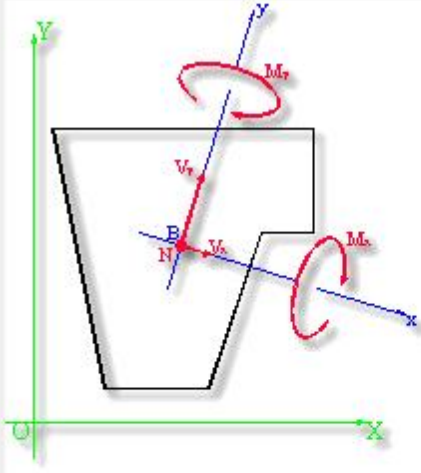
Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	0

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	10.00	112.00	0.00
2			
3			
4			

Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi **Sforzi** Risultati



Convenzioni positive: Sforzi nel riferimento selezionato
Sf. normale N positivo di compressione

Tipo di flessione

RETTA DEVIATA ?

Sforzi di Esercizio pre-rinforzo (per soli carichi permanenti)

N [kN] Mx [kNm] My [kNm]

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	1

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (referim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vy [kN]	Vx [kN]	^
1	820.00	149.00	35.00	340.00	98.00	
2						
3						
4						
5						

- Sforzi di esercizio presenti prima del rinforzo: vanno assegnati gli sforzi N, Mx (My nel caso di flessione deviata) agenti sulla sola sezione iniziale prima del rinforzo. Nel caso di sezione incamiciata con c.a. è importante assegnare lo sforzo normale del nucleo esistente pari al totale dei soli carichi permanenti non amplificati escludendo i carichi variabili.
- Tipo di combinazione:
Occorre anzitutto selezionare nell'apposito elenco il tipo di combinazione in corrispondenza del quale assegnare gli sforzi finali. Il primo tipo di combinazione

nell'elenco è sempre quello di resistenza SLU. I tre tipi successivi sono invece le combinazioni di esercizio (rare, frequenti e quasi permanenti) previste dalla normativa. Per poter effettuare il calcolo è necessario fornire almeno una combinazione di resistenza (quelle di esercizio sono opzionali).

Per le sezioni predefinite possono assegnarsi contemporaneamente i seguenti sforzi finali totali agenti sulla sezione rinforzata:

- N [daN] Sforzo normale positivo se di compressione.
- Mx [daNm] Momento flettente intorno all'asse x.
- Vy [daN] Taglio con unica componente parallela all'asse y.

Per le sezioni generiche e le rettangolari di pilastri possono assegnarsi i seguenti sforzi agenti anche contemporaneamente:

- N [daN] Sforzo normale.
- Mx [daNm] Momento flettente intorno all'asse x.
- My [daNm] Momento flettente intorno all'asse y.
- Vy [daN] Componente del Taglio parallela all'asse x.
- Vx [daN] Componente del Taglio parallela all'asse y.

2.13 Staffe - Duttibilità

Staffe e legature preesistenti per sezioni predefinite

Nel caso delle sezioni predefinite le staffe della sezione iniziale (staffa singola o doppia + eventuale legatura intermedia) vanno assegnate preliminarmente nella finestra corrispondente alla scheda Sez.Ini.. Nel caso di sezione incamiciata in c.a. o cerchiata con bande o nastri le armature trasversali (sempre a 2 bracci) vengono assegnate nella scheda dei dati relative ai rinforzi.

Staffe e legature preesistenti per sezioni generiche e pilastri rettangolari

Nella scheda 'Sez. Iniziale' relativa alla sola sezione esistente è possibile assegnare in dettaglio forma e numero delle staffe chiuse e delle legature. Le staffe chiuse vanno generate aprendo la griglia di input col pulsante 'Input staffe multiple'. Per generare una staffa chiusa basta digitare, in senso orario, il numero delle barre poste agli spigoli della staffa. Per le legature è disponibile un'apposita griglia. Se, come spesso avviene, la sezione iniziale contiene una staffa perimetrale a due bracci essa viene generata automaticamente selezionando l'opzione '1 barra per ogni vertice'. Naturalmente potranno essere variati anche il diametro delle staffe e delle legature nonché il passo che è previsto unico sia per le staffe che per le legature. Il rispetto della disposizioni geometriche relative al contenimento delle barre longitudinali tramite staffe e/o legature (§4.1.6 NTC e §7.4.6.2.2 NTC) non viene verificato dal programma se non come verifica del quantitativo minimo considerando anche le eventuali armature (o FRP a taglio) trasversali di rinforzo.

Nome

The diagram shows a trapezoidal section with a top width of 40 cm and a bottom width of 20 cm. The height is 80 cm. Reinforcement bars are numbered 1 through 8. The software interface on the right includes the following sections:

- Dati Generali**: Sez.Iniz., Rinforzi, Sforzi, Risultati
- CALCESTRUZZO**:
 - N° Domini Calcestruzzo: 1
 - Calcestruzzo corr.: fck16
 - Forma Dominio Corrente: Poligonale Pieno
 - Coordinate Vertici Dom. (ordinati con verso orario):

N° Vertici	X vertice (cm)	Y vertice (cm)
1	-20	0
2	-40	80
3	40	80
4	20	0
- ARMATURE**:
 - Acciaio barre longitudinali: FeB33K
 - Domini poligonali (cm): 1 barra per ogni vertice
 - Coprif. (cm): 4
 - Barre Isolate:

y [cm]	Ø [mm]
4	16
76	16
76	16
 - Barre Finali:

N° Barre	Ø [mm]
4	2
3	2
2	14
 - Legature esistenti:

N°	Barra N°	Barra N°
1		
2		

STAFFE CHIUSE DELLA SEZIONE ESISTENTE (minimo a 3 lati, massimo a 9 lati)

N° Staffa	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6	Barra 7	Barra 8	Barra 9
1	1	2	3	4					
2	7	8	6	5					
3									
4									
5									
6									

Ogni staffa chiusa viene definita mediante i numeri delle barre (corrispondenti agli spigoli della staffa) da inserire in griglia ordinati in senso orario. Il numero dell'ultima barra non deve ripetere quello della prima barra. Una staffa chiusa deve avere un minimo di 3 lati definiti dai numeri delle corrispondenti barre.

Staffe e legature aggiunte per sezioni generiche e pilastri rettangolari

Nel caso in cui il rinforzo sia costituito da ulteriori domini in calcestruzzo e barre aggiunte, è possibile generare (nella scheda 'Rinforzi') staffe aggiuntive. Nel sottoriportato esempio la sezione iniziale viene rinforzata con una camicia in ca dotata di staffatura aggiunta che collega le barre di spigolo previamente aggiunte.

FFE.sezfrp

The diagram shows a trapezoidal section with a top width of 40 cm and a bottom width of 20 cm. The height is 80 cm. Reinforcement bars are numbered 1 through 10. The software interface on the right includes the following sections:

- Dati Generali**: Sez.Iniz., Rinforzi, Sforzi, Risultati
- Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio**:
 - Tessuti/Lamine FRP
 - Domini poligonali (a 4 lati) aggiunti:
 - Sceita Calcestruzzo aggiuntivo: C25/30
 - Sez. Incamiciata Spess. (cm) 8.0 Coprif. (cm) 4.0
 - Domini Aggiunti
- Barre longitudinali in acciaio**:
 - Barre longitudinali in acciaio aggiunte:
 - passanti oltre i nodi (incremento resistenza flessione)
 - non passanti oltre i nodi (solo per confinamento)
 - Barre Longit. e/o Staffe aggiunte: B450C
 - Barre Longit. e/o Staffe aggiunte:

N°	Ø [mm]	X [cm]	Y [cm]
9	22	-42.6	82.0
10	22	42.6	82.0
- accaggio a flessione in acciaio aggiunte sui lati**:
 - acciaio per Lamine di placaggio: S235
 - Largh. [cm] Spess. [cm] 1° Vertice 2° Vertice
- Rinforzi con staffe trasversali in acciaio**:
 - Staffe chiuse (2 bracci) in acciaio per taglio e confinamento:
 - Diam, mm 10.0
 - Passo, cm 9.0
 - Acciaio B450C

STAFFE CHIUSE AGGIUNTE (Vertici staffe solo su barre aggiunte). Non digitare barre intermedie a 2 barre di spigolo.

N° Staffa	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6	Barra 7	Barra 8	Barra 9
1	9	10	11	12					
2									
3									
4									
5									
6									

Per annullare una intera riga (= intera staffa) digitare 0 nella prima colonna della riga. Digitare solo le barre che costituiscono le piegature della staffa. (Cioè non digitare barre intermedie disposte sull'allineamento delle barre di spigolo). Ogni staffa chiusa viene definita mediante i numeri delle barre (corrispondenti agli spigoli della staffa) da inserire in griglia ordinati in senso orario.

Duttilità e diagrammi momenti curvatures

La valutazione della duttilità è riservata solo alle sezioni critiche di strutture dissipative esistenti per le quali non sono rispettati i particolari costruttivi in grado di evitare il calcolo diretto di duttilità.

I diagrammi momenti curvature possono altresì essere impiegati (utilizzando i valori medi dei materiali) nel calcolo delle caratteristiche di sezioni interessate da un calcolo non lineare (pushover).

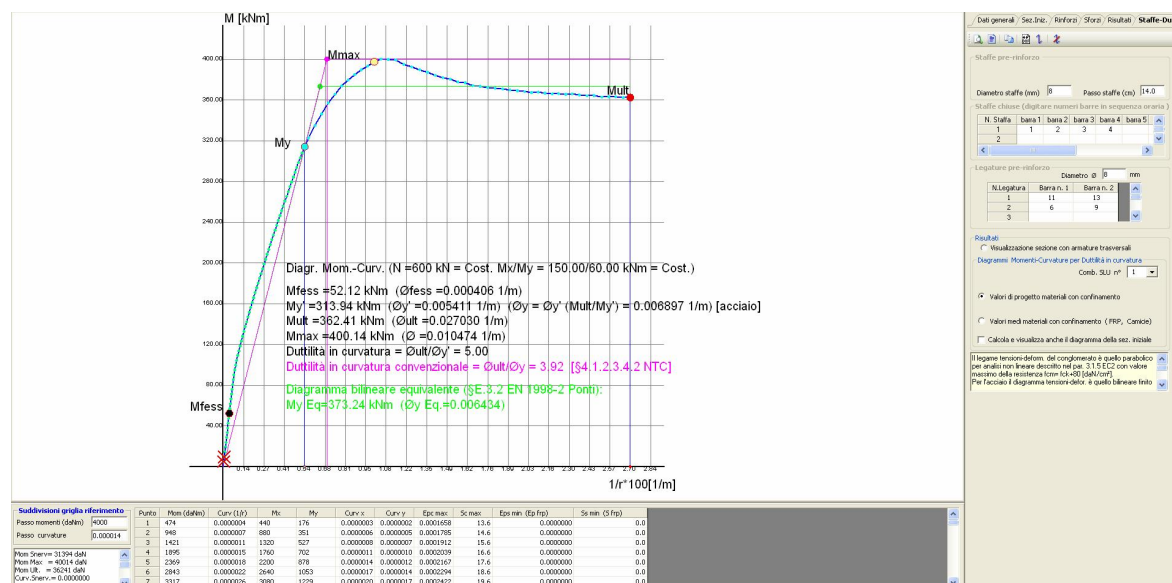
In questa stessa scheda è previsto il calcolo e la rappresentazione grafica di vari tipi di diagrammi momenti curvature in grado di fornire una valutazione della duttilità di curvatura della sezione.

Sono sempre previsti due tipi di calcolo di duttilità:

- Duttilità basata sui valori di progetto dei materiali (nuovi ed esistenti) allo scopo di valutare la capacità della sezione in termini di duttilità in curvatura da confrontare con la domanda espressa dalle (7.4.3)NTC nell'ambito di un calcolo lineare dissipativo della struttura.
- Duttilità basata sui valori medi dei materiali allo scopo di valutare i valori di curvatura alla prima plasticizzazione e a rottura al fine di ottenere i dati di resistenza e deformazione in termini di rotazione alla corda della sezione nell'ambito di un calcolo non lineare (pushover).

Il calcolo viene eseguito a sforzo normale costante incrementando il momento flettente a rapporto M_y/M_x costante e tenendo conto della rottura del copriferro (*spalling*) per valori di deformazione unitaria superiori a 0.0035. Si ottengono così diagrammi momenti curvature del tipo di quello rappresentato nella figura seguente in cui vengono, tra l'altro, evidenziati valori del momento di snervamento, ultimo e di fessurazione.

Per un approfondimento sulle modalità di calcolo seguite si rimanda al paragrafo delle verifiche in termini di duttilità $\sqrt{10^4}$.



2.14 Archivio materiali

In questa finestra tutte le unità di misura delle tensioni dei materiali vanno espresse in N/mm² (MPa), mentre le lunghezze in mm.

All'apertura del programma o di un nuovo calcolo viene visualizzato l'archivio fisso di partenza nel quale è possibile aggiungere nuovi tipi di conglomerato ed acciaio o

modificare i valori presenti. I valori delle caratteristiche dei materiali esposti inizialmente dal programma in questa finestra sono solo indicativi; spetta all'utente controllarli ed eventualmente modificarli o sostituirli in base alle proprie valutazioni ed interpretazioni. Quando i dati della sezione oggetto del calcolo corrente vengono salvati viene memorizzato con essi anche l'intero archivio modificato. Se si vuole utilizzare l'archivio modificato anche all'avvio dei successivi calcoli di nuove sezioni va selezionato il pulsante "Assumi come default".

Si noti che per quanto riguarda i dati utili al calcolo allo stato limite ultimo non compaiono i coefficienti parziali dei materiali in quanto i dati di calcolo da immettere in griglia vanno preventivamente divisi per tali coefficienti (la resistenza di calcolo f_{cd} ad esempio per calcestruzzi 'nuovi' e quella ottenuta da $f_{cd} = \gamma_c \cdot f_{cm} / \gamma_c$ essendo $\gamma_c = 0.85$ e $\gamma_c = 1.5$ i coeff. attualmente previsti dalla normativa italiana sugli stati limite; mentre per calcestruzzi esistenti $f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_c \cdot FC)$ con FC= Fattore di confidenza; nel caso ad esempio di solette con spessori minori di 5 cm (§4.1.2.1.1.1 NTC) si dovrà immettere per f_{cd} direttamente il valore corrispondente a $0.8 f_{cd}$). Fermando il mouse sulle singole colonne delle griglie dei calcestruzzi e degli acciai compaiono le formule da cui ricavare le corrispondenti caratteristiche del materiale.

DATI MATERIALI [N/mm²; mm]

CALCESTRUZZI (inserire sempre i dati del calcestruzzo esistente nella prima riga modificando quelli esistenti)

N°	Classe Cls	Rck cubi	Ecm	FC	fcm	fck	fcd	fctd	fctm	C.Viscosità
1	fck16	19.3	27480.0	1.350	21.0	16.0	10.4	0.9	1.9	0
2	C25/30	30.0	31475.8	===	33.0	25.0	14.2	1.2	2.6	1.36
3	C28/35	33.7	32308.2	===	36.0	28.0	15.9	2.8	6.0	1.42
4	C30/37	36.1	32836.6	===	38.0	30.0	17.0	2.9	6.2	1.46
5	C32/40	38.6	33345.8	===	40.0	32.0	18.1	3.0	6.5	1.50
6	C35/45	42.2	34077.1	===	43.0	35.0	19.8	3.2	6.9	1.56

ACCIAI per barre, bande, nastri, lamine di placcaggio, trefoli. Inserire l'acciaio della sezione esistente nella prima riga.

N°	Nome Acciaio	Es	FC	fyk	fyd	fym	ftd	ept_k	epd_ult	B1*B2 ini	B1*B2 fin	K=ftm/fym
1	Feb38k	200000.0	1.200	375.0	311.6	430.0	311.6	0.040	0.036	1.0	0.5	1.2
2	B450C	200000.0	===	450.0	391.3	517.5	391.3	0.075	0.068	1.0	0.5	1.2
3	S235	210000.0	===	235.0	204.0	235.0	204.0	0.040	0.036	1.0	0.5	1.0
4	Nastri	210000.0	===	612.0	532.0	612.0	532.0	0.030	0.020	1.0	0.5	1.0

RINFORZI FRP (spessori relativi ad un solo strato/lamina) (fibre solo unidirezionali nel calcolo)

N°	Nome Rinforzo	Tipo Sistema FRP	Ef	ffk	Eta a	Eta l	gamma f,d	Largh. mm	Spess. mm	G ades
1	CFRP_1	Preformato	165000.0	2800.0	0.95	0.8	1.20	100.0	1.2	12000.0
2	CFRP_2	Impregnato in sit	235000.0	4200.0	0.95	0.8	1.20	100.0	0.45	12000.0
3	CFRP_QUADR.	Impregnato in sit	230000.0	3220.0	0.95	0.8	1.20	100.0	0.106	12000.0
4										

PARAMETRI FISSI SLE (apert.fess.-tensioni normali)

Cond. Ambientali	Tipo Combinaz.	Apert. Fess. mm	S.Cls (aliq.fck)	S. Fe (aliq. fyk)
Ordinarie	Rara	===	0.600	0.800
	Frequente	0.400	----	----
	Quasi perman.	0.300	0.450	----
Aggressive	Rara	====	0.600	0.800
	Frequente	0.300	----	----
	Quasi perman.	0.200	0.450	----
	Rara	====	0.450	0.800

CALCESTRUZZI - I dati del calcestruzzo presenti nella prima riga devono essere quelli della sezione originaria (già esistente) prima del rinforzo. In questa riga vanno digitati i valori della resistenza media fcm (ottenuta dalle indagini), del fattore di confidenza FC (tabella C8A.1.2 NTC), della resistenza caratteristica fck (calcolata dall'utente utilizzando il valore di fcm in base alla norma EN 13791(2007). Per i calcestruzzi nuovi di rinforzo i dati nominali del

Applica

Assumi come Default

Annulla

CALCESTRUZZI

La prima riga (con sfondo color ciano) va sempre utilizzata per i dati del calcestruzzo della sezione iniziale (già esistente) modificando i dati di default in base al livello di conoscenza ed al fattore di confidenza assunti (§8.5.4 Istruzioni NTC). Per quanto riguarda la deduzione delle proprietà del calcestruzzo esistente da immettere nella prima riga si raccomanda la lettura del paragrafo Caratteristiche dei materiali^[7]. Le successive righe della griglia vanno invece riempite con i valori nominali così come indicati dalle NTC per i nuovi calcestruzzi con classe predefinita (questi nuovi calcestruzzi possono essere quelli relativi ad nuova soletta da aggiungere ad una trave o ad una camicia in c.a. per un pilastro).

Classe congl.: Denominazione della classe di resistenza del conglomerato mediante una definizione alfanumerica di non più di 10 caratteri. Le nuove NTC (cap.4) esigono, per i nuovi calcestruzzi (quelli dalla seconda riga della griglia in poi), l'impiego delle denominazioni normalizzate quali ad esempio: C20/25; C25/30; C28/35; C35/45 etc. definite in base alla resistenza caratteristica rispettivamente cilindrica f_{ck} e su cubi R_{ck} (espresse in Mpa). Naturalmente per il calcestruzzo esistente (prima riga della griglia) si potrà indicare una qualsiasi denominazione utilizzata in passato.

$f_{ck}, cubi = R_{ck}$ = resistenza caratteristica su provini cubici. Viene indicata per completezza di informazione ma non interviene nei calcoli. Le NTC fissano la seguente relazione tra le resistenze caratteristiche su cubi e cilindriche: $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$

E_{cm} : Modulo elastico (in N/mm²). Sia EC2 che NTC (§ 11.2.10.3) indicano il valore secante E_{cm} (secante tra $\sigma_c = 0$ e $\sigma_c = 0.4 f_{cm}$) pari a $22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ N/mm² dove $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm²) = valore medio della resistenza.

f_{cm} : Resistenza media a compressione f_{cm} (in N/mm²). Per il calcestruzzo esistente pre-rinforzo (prima riga della griglia) f_{cm} è il valore medio dedotto dalle prove distruttive e non distruttive (vedasi paragrafo Caratteristiche dei materiali^[7]). Per i calcestruzzi nuovi le NTC prevedono invece di regola la seguente correlazione $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm²). Il valore di f_{cm} viene impiegato in programma per il calcolo dei parametri di duttilità della sezione iniziale e rinforzata: curvatura allo snervamento, curvatura a rottura e relativi momenti flettenti a sforzo normale costante, duttilità in curvatura. Nel caso si stiano valutando le rotazioni alla corda da assegnare ad una cerniera plastica (a partire dalle curvature a snervamento ed ultime) nella fase di verifica strutturale (lato capacità) è necessario inserire - per il solo calcestruzzo esistente - $f_{cm} = f_{cm}/FC$.

Se invece l'analisi ha come scopo la valutazione delle rotazioni plastiche nella fase di analisi strutturale non lineare (lato domanda) f_{cm} va inserito in griglia senza dividerlo per FC (Fattore di Confidenza). Naturalmente per i materiali nuovi va sempre e solo indicato il valore nominale di f_{cm} .

FC: Fattore di confidenza. Viene impiegato, con riferimento al solo calcestruzzo esistente (prima riga della griglia), per determinare il valore di progetto della resistenza $f_{cd} = f_{cm}/(\gamma_c \cdot FC)$ da impiegare nei calcoli di verifica. FC può assumere i seguenti valori: 1.35, 1.20, 1.00 a seconda se il livello di conoscenza è LC1, LC2, LC3.

f_{ck} : Resistenza cilindrica caratteristica a compressione f_{ck} (in N/mm²). Per un calcestruzzo nuovo (dalla seconda riga in poi) il valore da assegnare è quello indicato nella stessa Classe nominale; se il calcestruzzo è certificato in base ad R_{ck} si ha: $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$ [§ 11.2.10.1 NTC]. Per il calcestruzzo esistente iniziale (prima riga della griglia) va determinato a partire dal valore f_{cm} con le modalità illustrate nel paragrafo Caratteristiche dei materiali^[7].

f_{cd} : Resistenza ultima di calcolo a compressione f_{cd} (in N/mm²). Per calcestruzzi nuovi (dalla seconda riga in poi): $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / 1.5$ [punto 4.1.2.1.1.1 NTC] dove $\alpha_{cc} = 0.85$ = coeff. riduttivo delle resistenze di lunga durata e 1.5 è il coeff. sicurezza parziale γ_c del calcestruzzo. Per il calcestruzzo esistente (prima riga) $f_{cd} = f_{cm}/(\gamma_c \cdot FC)$ in cui FC è il fattore di confidenza e $\gamma_c = 1.5$.

fctd: Resistenza di calcolo a trazione (in N/mm²) $f_{ctd} = 0,7 f_{ctm} / 1,5$.

fctm: Resistenza media a trazione (in N/mm²) $f_{ctm} = .3 (f_{ck})^{2/3}$ per classi ≤ C50/60 [11.2.10.2 NTC]

$$f_{ctm} = 21,2 \ln[1 + (f_{cm}/10)] \quad \text{per}$$

classi > C50/60

Coeff. Visc. φ : Coefficiente di viscosità [punto 11.2.10.7 NTC] utilizzato per il calcolo delle tensioni di esercizio SLE effettuato sempre col metodo EM (cfr. [9²⁴⁰]) Cioè il programma utilizza per il calcestruzzo un modulo elastico efficace $E_{c,eff} = E_c / (1 + \varphi)$. Per un confronto o una calibrazione di φ col metodo n si può usare la seguente corrispondenza: $E_{c,eff} = E_s / n = E_c / (1 + \varphi)$ da cui $\varphi = n E_c / E_s - 1$. Per il calcestruzzo della sezione esistente si può porre quasi sempre $\varphi = 0$ (viscosità esaurita per le sollecitazioni incrementali SLE relative alla fase di rinforzo). Per eventuale calcestruzzo di nuovo getto può assumersi il nuovo valore φ (ad esempio valutato in modo da avere n=15). Per semplicità il ritiro non viene considerato in quanto per il calcestruzzo esistente può considerarsi nullo, mentre per quello nuovo può considerarsi di entità trascurabile in quanto vengono di regola utilizzati additivi antiritiro. Per il calcolo delle tensioni e deformazioni SLE pre-rinforzo il programma utilizza sempre il coefficiente medio di omogeneizzazione n=15.

ACCIAI PER BARRE-STAFFE-LAMINE-BANDE-NASTRI-TREFOLI

La prima riga (in colore ciano) va utilizzata per i dati dell'acciaio della sezione iniziale (già esistente) modificando i dati di default in base al livello di conoscenza ed al fattore di confidenza assunti (vedi Caratteristiche dei materiali^[7]).

Nome acciaio: Denominazione del tipo di acciaio mediante una definizione libera alfanumerica di non più di 10 caratteri.

Es (E_s): Modulo elastico medio istantaneo (in N/mm²). EC2. Si è pre-impostato il valore di 200000 N/mm² per tutti gli acciai in barre.

FC: Fattore di confidenza. Viene impiegato, con riferimento al solo acciaio (prima riga della griglia), per determinare il valore di progetto della resistenza $f_{yd} = f_{ym} / (\gamma_s \cdot FC)$ da impiegare nei calcoli di verifica. FC può assumere i seguenti valori: 1.35, 1.20, 1.00 a seconda se il livello di conoscenza è LC1, LC2, LC3.

f_{yk} (f_{yk}): Per gli acciai nuovi (dal secondo rigo della griglia in poi) la tensione caratteristica di snervamento è quella f_{yk} (in N/mm²) nominale del produttore; ad esempio per l'acciaio in barre B450C il suo valore è pari a 450.0 N/mm² [punto 11.3.2.1 NTC]. Nel caso di barre in sezioni esistenti prive di certificato originali di prova o di correlazioni storiche fornite dal produttore il valore di f_{yk} va dedotto a partire da quello medio f_{ym} misurato. Statistiche europee indicano che il valore medio della resistenza è del 15% maggiore della resistenza caratteristica: si può cioè porre $f_{yk} = 0.85 \cdot f_{ym}$.

f_{yd} (f_{yd}): Tensione di snervamento di progetto (in N/mm²). Per acciai nuovi e f_{yk} / γ_s [$\gamma_s = 1.15 =$ coefficiente di sicurezza parziale]. Nel caso di acciaio appartenente a sezione esistente (prima riga della griglia) $f_{yd} = f_{ym} / (\gamma_s \cdot FC)$.

f_{tk} (f_{tk}): Tensione caratteristica di rottura nominale (in N/mm²). Per acciai nuovi in barre B450C il valore è pari a 540.0 N/mm² [punto 11.3.2.1 NTC]. Nel caso di acciaio esistente può assumersi $f_{tk} = 0.85 \cdot f_{tm}$ in analogia a quanto sopra detto per il valore di snervamento.

f_{td_ult} : (f_{td}) Tensione di rottura di calcolo (in N/mm²). E' pari a f_{tk} / γ_s . Per acciai esistenti (prima riga della griglia) privi di certificati del produttore vale: $f_{tm} / (\gamma_s \cdot FC)$ con f_{tm} valore medio dedotto da prove.

e_{ptk} : Deformazione unitaria ϵ_{uk} a rottura nel diagramma idealizzato dell'acciaio (che per l'acciaio B450C è $\geq 0,075$). Nel caso di acciai in sez. esistenti $e_{ptk} = \epsilon_{um} / F_{att.Conf.}$

e_{pd_ult} : Deformazione unitaria ϵ_{ud} a rottura di calcolo nel diagramma idealizzato dell'acciaio (deve assumersi non superiore a $0,9 \epsilon_{uk}$).

β_1, β_2 (iniz.): prodotto dei coefficienti β_1, β_2 rappresentativi dell'aderenza acciaio calcestruzzo e dello stato di sollecitazione nel caso di prima applicazione del carico [punto B.6.6.2. Circ. 252/'96]. Questo valore viene assunto automaticamente dal programma nel calcolo dell'apertura delle fessure per combinazioni frequenti.

β_1, β_2 (finale): prodotto dei coefficienti β_1, β_2 rappresentativi dell'aderenza acciaio calcestruzzo e dello stato di sollecitazione nel caso di azioni di lunga durata o di azioni ripetute [punto B.6.6.2. Circ. 252/'96]. Questo valore viene assunto automaticamente dal programma nel calcolo dell'apertura delle fessure nelle combinazioni quasi permanenti.

RINFORZI FRP

Nome rinforzo: Denominazione del tipo di rinforzo FRP mediante una definizione libera alfanumerica di non più di 10 caratteri

Tipo di applicazione: Per calcolo condotto secondo le Linee Guida 2013 va selezionato il tipo tra Tipo A (sistema di rinforzo di cui sono certificati sia i materiali che il sistema completo applicato ad un substrato definito) ed il Tipo B (sistemi in cui sono certificati i soli materiali). A seconda del tipo di rinforzo variano i coeff. parziali da applicare ai materiali di rinforzo. Per calcolo [condotto secondo le CNR-DT 200 2013] va selezionato il composito Preformato (Sistema 2) costituito da Laminato pultruso o il composito Impregnato in situ costituito da tessuto unidirezionale in CFRP da impregnare in situ (sistema2); il sistema 2 è sempre più resistente del sistema 1 [si veda al proposito il § 3.4.1 CNR 2013^[240]]

E_f : (E_f) modulo di elasticità ridotto (in N/mm²) normale nella direzione di calcolo (unica per ogni tipo di applicazione). $E_f = \gamma_{FE} E_{fib}$ in cui E_{fib} è il modulo di elasticità delle fibre nude e γ_{FE} ($\leq 0,9$) è il coeff. di riduzione della rigidità dopo l'impregnazione indicata dal produttore.

f_{fk} : (f_f) resistenza caratteristica ridotta (daN/cm²) = $f_f = \gamma_{ff} f_{fib}$ in cui f_{fib} è la resistenza caratteristica delle fibre nude e γ_{ff} ($\leq 0,9$) è il coeff. di riduzione dopo l'impregnazione. Questi dati devono essere forniti dal produttore.

η_a : (η_a) fattore di conversione ambientale (dipendente dal tipo di fibra e dalle condizioni di esposizione) che forfettariamente modifica le resistenze e le deformazioni allo SLU. I valori ammessi sono riportati nel §3.5.1 delle CNR-DT 200 2013.

η_l : (η_l) fattore di conversione per gli effetti di lunga durata (dipendente dal tipo di fibra e dalla modalità di carico). Interessa le verifiche SLE. I valori ammessi sono riportati nel §3.5.2 per calcolo eseguito secondo le CNR-DT 200 2013.

$\gamma_{f,d}$: ($\gamma_{f,d}$) coefficiente parziale per lo stato limite ultimo di distacco variabile, a giudizio del progettista, da 1.20 a 1.50 [§3.4.1 CNR-DT 200 2013]. Il coefficiente parziale $\gamma_{f,d}$ relativo allo stato limite ultimo per rottura a trazione del rinforzo è fissato pari a 1.10 e quindi non compare come dato di input nella griglia.

Largh.: Larghezza in mm. del tessuto o lamina FRP nella direzione ortogonale a quella del rinforzo. I rinforzi possono essere disposti anche affiancando più strisce di pari larghezza.

Spess.: Spessore (in mm.) di un singolo strato di rinforzo. I rinforzi possono essere disposti anche su più strati sovrapposti di spessore complessivo t_f .

G adesivo: (G_a) modulo di elasticità tangenziale dell'adesivo (daN/cm²) utilizzato per l'incollaggio del rinforzo al calcestruzzo. Viene impiegato nella verifica delle tensioni di interfaccia allo SLE.

Spess.adesivo: (t_a) spessore nominale adesivo. Viene impiegato nella verifica delle tensioni di interfaccia allo SLE.

2.15 Opzioni armature e di calcolo

OPZIONI ARMATURE E DI CALCOLO

i Il copriferro da assegnare alle barre longitudinali è quello misurato a partire dal baricentro delle stesse.
 Nelle travi e nei pilastri il diametro minimo delle barre longitudinali è fissato in 12 mm.; in zona sismica il diametro minimo delle staffe è di 6 mm per le travi e di 8 mm per i

Unità di misura
 Sforzi [kN, kNm], Tensioni [N/mm²=MPa]

Opzioni Armature e di Calcolo

Scelta Diametri Long.		Scelta Diam. Staffe	
1° Diam. mm.	16	1° Diam. mm.	8
2° Diam. mm.	18	2° Diam. mm.	10

Diametro ferri di parete per torsione
 Diametro 10 mm

Diametro legature per travi/pilastri/pareti
 Diametro 8 mm

Interf. netto minimo barre	2	cm
Interf. massimo barre	30	cm
Coprif. (dal baric. barre) di default	4	cm
Passo min.staffe primo diam. di scelta	3	cm
Ctg Angolo bielle cls. in Torsione (1 <= Ctg <= 2.5)	2	
Ctg max nel calcolo del Taglio (<= 2.5)	2.5	

Tipo barre sezione esistente
 Aderenza migliorata Barre lisce

Calcestruzzo
 Passo di discretizzazione 0.5 <= 2 cm

Salva come default **Salva per calcolo corrente**

I diametri delle armature che compaiono in questa finestra vengono utilizzati dal programma per inizializzare i campi di input delle armature da modificare in base ai diametri effettivi delle sezioni iniziali o di quelle delle sezioni rinforzate. Per le assegnazioni iniziali dei diametri alla prima apertura della finestra di input (scheda dati sezione) viene assunto il primo dei due diametri delle armature longitudinali.

- Scelta diametri armature longitudinali: vanno indicati due differenti diametri (in mm) per le barre di armatura longitudinali (può anche essere indicato un unico valore per entrambi i diametri). Questi diametri vengono utilizzati come diametri di partenza per l'avvio iniziale delle varie tipologie sezionali.

- Scelta diametri staffe: vanno indicati due differenti diametri (in mm) per le staffe di armatura a taglio-torsione (può anche essere indicato un unico valore per entrambi i diametri). Diametro ferri di parete: va indicato il diametro (in mm) da utilizzare per le armature longitudinali di parete.
- Interferro netto minimo barre longitudinali: minima distanza netta (in cm) ammessa tra i contorni delle barre longitudinali. Per la corretta assegnazione di tale valore vedasi § 4.1.6.1.3 NTC e C4.1.6.1.3 Istruzioni.
- Copriferro di default: distanza (in cm) del baricentro delle barre longitudinali più vicine al contorno laterale della sezione rispetto al contorno stesso. Per la corretta assegnazione di tale valore vedasi § 4.1.6.1.3 NTC e C4.1.6.1.3 Istruzioni.
- Passo minimo staffe con il primo diametro di scelta (cm): se si assegna un passo minore in fase di input il programma lo segnala.
- Ctg dell'angolo formato dalle bielle compresse nella sollecitazione di torsione. In presenza di torsione e di torsione e taglio il valore di questa cotangente può essere assegnato liberamente purchè compreso tra 1 e 2.5. Nel caso di sezioni poste in zona critica con classe di duttilità "A" il programma assume automaticamente il valore pari ad 1.
- Ctg massima nel calcolo del taglio. Il programma in automatico assume per la cotangente dell'angolo formato dalle bielle compresse il valore iniziale 2.5 (quello cioè che conduce alla minima area di staffe). Tale valore iniziale viene ridotto solo se la sezione non viene verificata dal lato acciaio. Questa opzione consente per ogni sezione calcolata di poter variare detto valore massimo di partenza per l'armatura delle staffe (ad esempio assegnando 1.0 si ottiene l'area massima di staffe a parità di taglio assegnato).
- Barre ad aderenza migliorata o barre lisce: questa opzione viene utilizzata solo nel calcolo dell'apertura delle fessure.
- Passo di discretizzazione: nel calcolo allo stato limite ultimo per tensioni normali e nel calcolo dei diagrammi momenti-curvature la sezione viene discretizzata mediante strisce equidistanti tra loro e tutte parallele all'asse neutro. Il passo di discretizzazione fissa il valore in cm. di tale equidistanza. Si consiglia il valore 0,5 cm per le sezioni correnti. Per sezioni di grandi dimensioni (ad es. pile da ponte) si può utilizzare tranquillamente un valore da 1 a 2 cm.

2.16 Altezza testi - Opzioni di stampa

ALTEZZA TESTI - SCALA DIAGRAMMI - OPZIONI DI STAMPA

Altezza dei testi

Altezza numeri assegnati ai vertici dei campi poligonali	<input type="text" value="2"/>	cm
Altezza numeri assegnati alle barre nei vertici ed isolate	<input type="text" value="2"/>	cm
Altezza delle quote e delle coordinate	<input type="text" value="3"/>	cm
Altezza scritte e didascalie	<input type="text" value="2"/>	cm

Scala diagrammi a video tensioni normali

Lunghezza in cm corrispondente a 100 daN/cm ² di Tensione Normale	<input type="text" value="5"/>
--	--------------------------------

Opzioni di Stampa

Stampa compatta: stampa tensioni e deform. nei soli punti in cui sono max e min

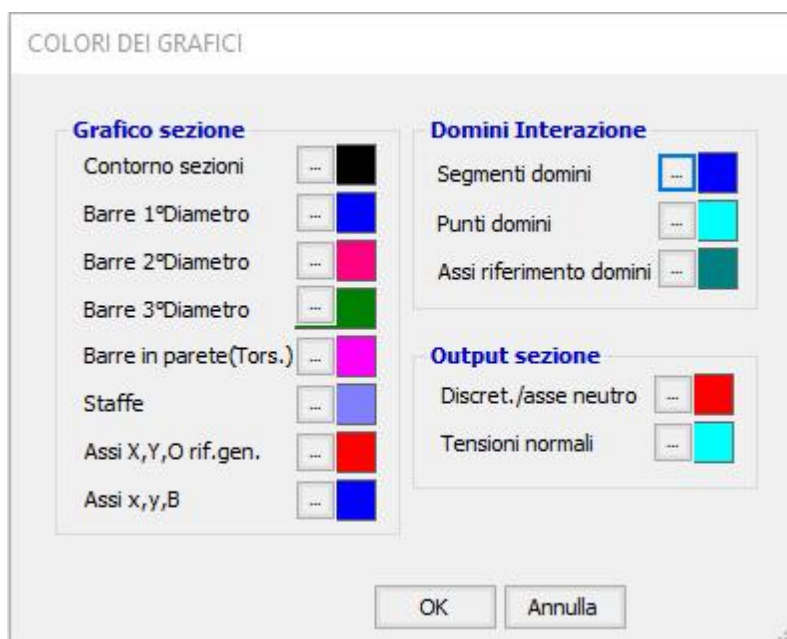
Stampa estesa: stampa tensioni e deform. per le barre ed in tutti i vertici del calcestruzzo

Salva Opzioni come default Salva Opzioni calcolo corrente

Tramite le opzioni presenti in questa finestra è possibile fissare:

- l'altezza (in cm) dei caratteri numerici che compaiono nei grafici delle sezioni sullo schermo e delle scritte dei titoli delle schermate principali (altezza fissata automaticamente dal programma per domini e diagrammi momenti curvature);
- le scale dei diagrammi delle tensioni normali che compaiono nei grafici sullo schermo;
- il tipo di stampa (compatta o estesa) che si intende ottenere nei risultati del calcolo (la stampa estesa riporta, in aggiunta rispetto alla stampa compatta, le tensioni in tutti i vertici dei domini poligonali ed in tutte le armature presenti)

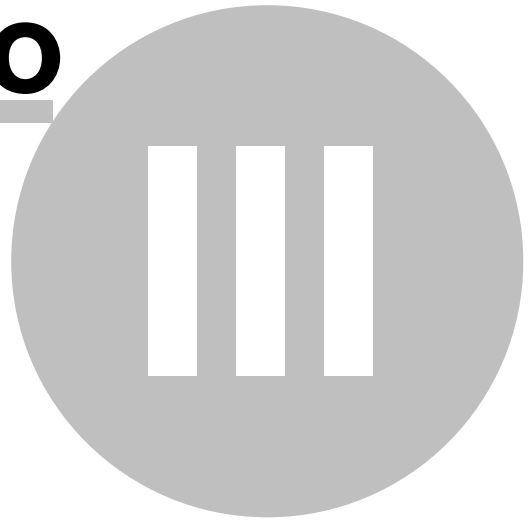
2.17 Colori dei grafici



Grazie alle opzioni che compaiono nella finestra di opzione è possibile assegnare un colore personalizzato per quasi tutte le entità grafiche che compaiono sullo schermo.

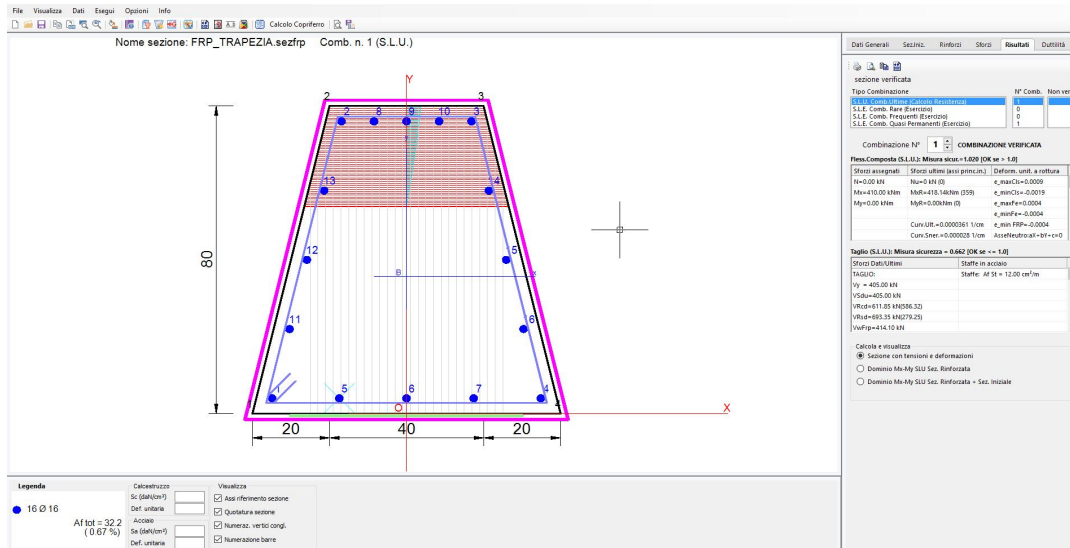
Risultati

Capitolo



3 Risultati

La Fig. mostra la visualizzazione dei risultati dopo l'esecuzione di un calcolo di esempio relativo ad una sezione generica rinforzata con FRP e verificata a pressoflessione deviata allo stato limite ultimo.



Nella scheda dei risultati (parte destra dello schermo) è possibile passare in rassegna (tramite pulsanti di selezione) i risultati numerici relativi a tutte le combinazioni di resistenza e di esercizio assegnate mentre, allo stesso tempo, nella finestra grafica vengono rappresentati il diagramma delle tensioni normali, l'asse neutro e la discretizzazione della zona compressa della sezione. Il passaggio del mouse su di una qualsiasi barra o vertice di sezione determina la stampa del relativo valore di tensione e di deformazione unitaria negli appositi campi posti nel pannello posto sotto la finestra grafica dell'applicazione.

Tramite i pulsanti posti nella barra nella parte alta della scheda Risultati è possibile stampare i risultati, copiare in memoria o stampare direttamente su carta qualunque disegno presente nella finestra grafica, salvare su file di tipo *.dxf il grafico della sezione o la rappresentazione di un suo dominio di interazione presente sullo schermo.

3.1 Domini di interazione

E' possibile ottenere domini di interazione M-M allo SLU per tutte le sezioni predefinite e domini Mx-My a sforzo normale costante per i pilastri a sezione rettangolare e le sezioni generiche.

Domini M-N per sezioni predefinite

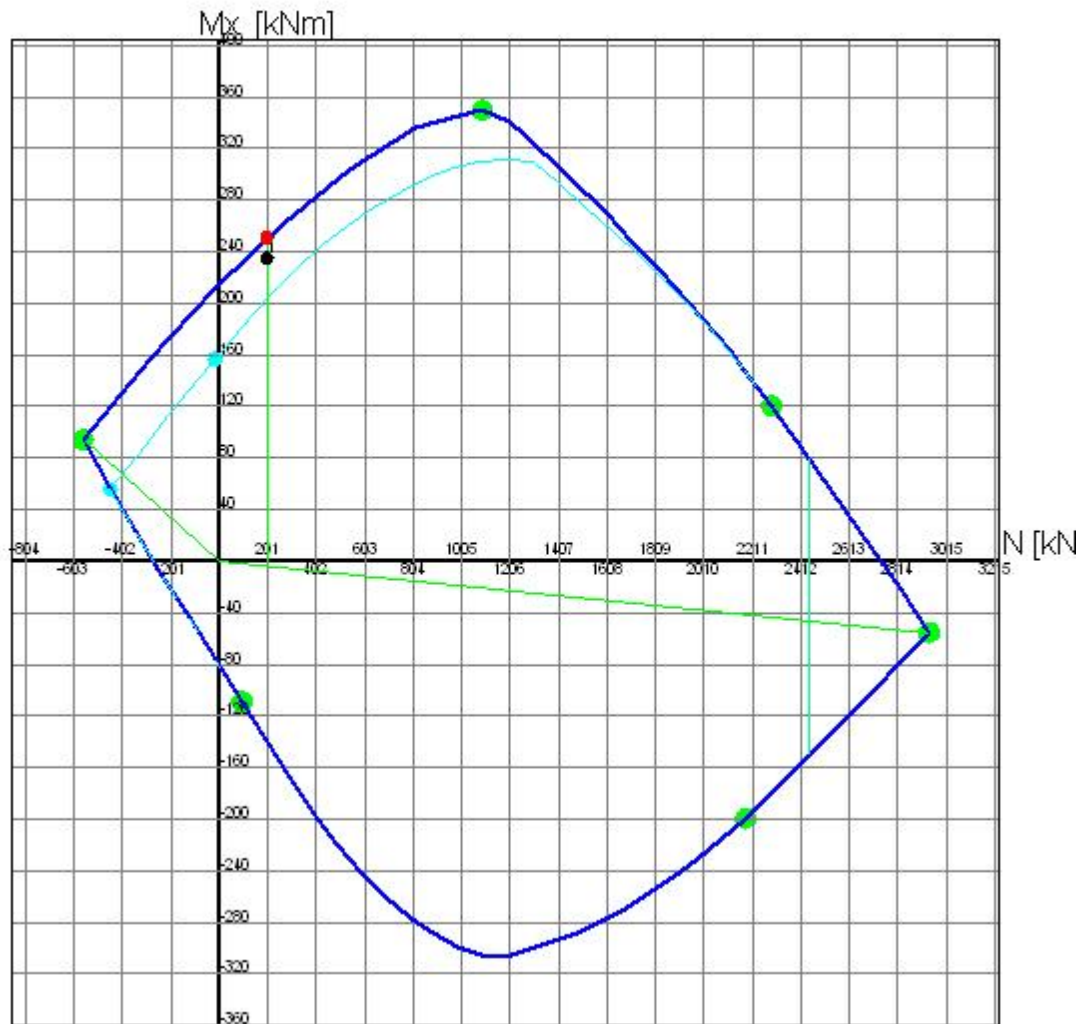
I domini di interazione rappresentati nella figura seguente sono relativi ad una sezione a T con armatura dissimetrica e rinforzo inferiore a flessione in FRP. Il dominio in blu è quello della sezione rinforzata, mentre quello in ciano interno è relativo alla sezione non rinforzata. Il cerchietto nero rappresenta la sollecitazione di progetto che risulta esterna (verifica non soddisfatta) al dominio iniziale mentre è interna (verifica soddisfatta) al dominio della sezione rinforzata. Il grafico è esportabile in formato .dxf e

può essere copiato in memoria o direttamente stampato su carta. I valori numerici dei punti discreti del diagramma possono essere visualizzati e stampati.

DOMINI N-Mx SLU (Sez.Iniziale + Sez.Rinforzata)

Nome Sezione: FRP_T_RETTA.sezfrp

Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\WB98\RC_SEC_FRP_NEW\FRP_T_RETTA.sezfrp



Passo Momenti Mx griglia = 40 kNm

Passo Sforzo Normale N = 201 kN

Domini Mx-My a sforzo normale N costante per sezioni generiche e pilastri rettangolari

Nella sottostante figura la frontiera del dominio di interazione Mx-My (N=costante) di una sezione trapezia rinforzata a flessione con FRP è tracciato in blu; mentre in ciano è visualizzata la frontiera del dominio della sezione non rinforzata. Vengono tracciati tanti domini per quante sono le combinazioni SLU assegnate per la sezione.

I valori degli sforzi Mx, My corrispondenti ai singoli punti della frontiera vengono

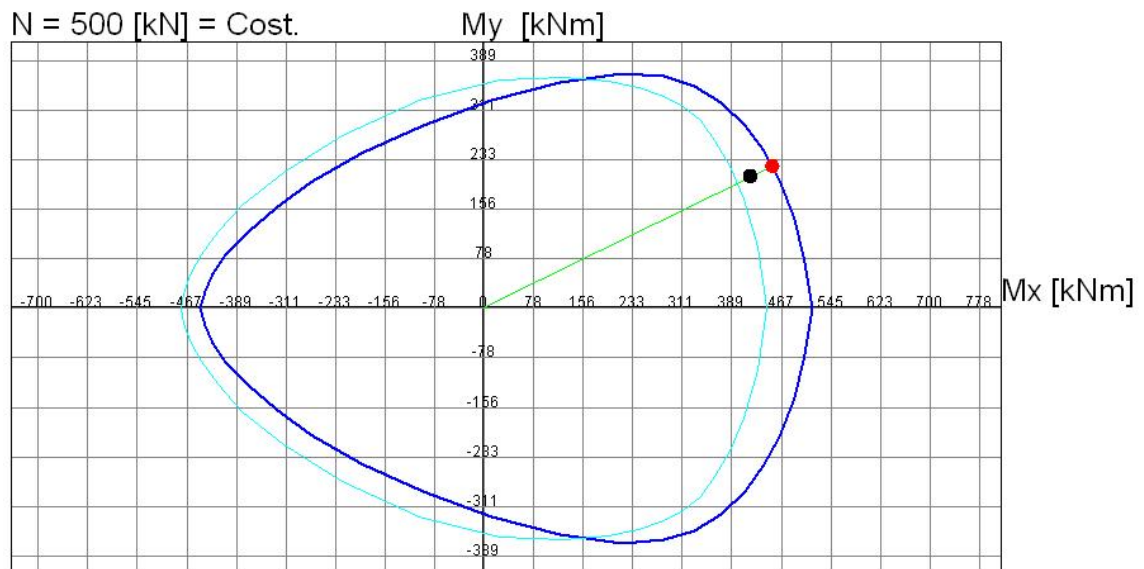
visualizzati nel pannello inferiore della finestra dei risultati col semplice passaggio del mouse. I grafici possono essere copiati nella clipboard, stampati direttamente su carta o salvati in formato .dxf. Il numero di punti che definiscono la frontiera del dominio possono infittiti nell'intervallo da 40 a 120. Nel grafico è sempre visibile il punto rappresentativo della combinazione corrente (cerchietto nero), nonché quello della sollecitazione ultima ed il percorso di sollecitazione che collega tali punti con l'origine.

DOMINIO INTERAZIONE Mx-My (STATI LIMITE ULTIMI)

Nome Sezione: TRAPEZIA.sez.sezfrp

Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\VB98\RC_SEC_FRP_NEW\PROVE_NEW\TRAPEZIA.sez.sezfrp

N = 500 [kN] = Cost.



Passo Momenti Mx, My griglia = 78 kNm

3.2 Diagrammi Momenti-Curvature

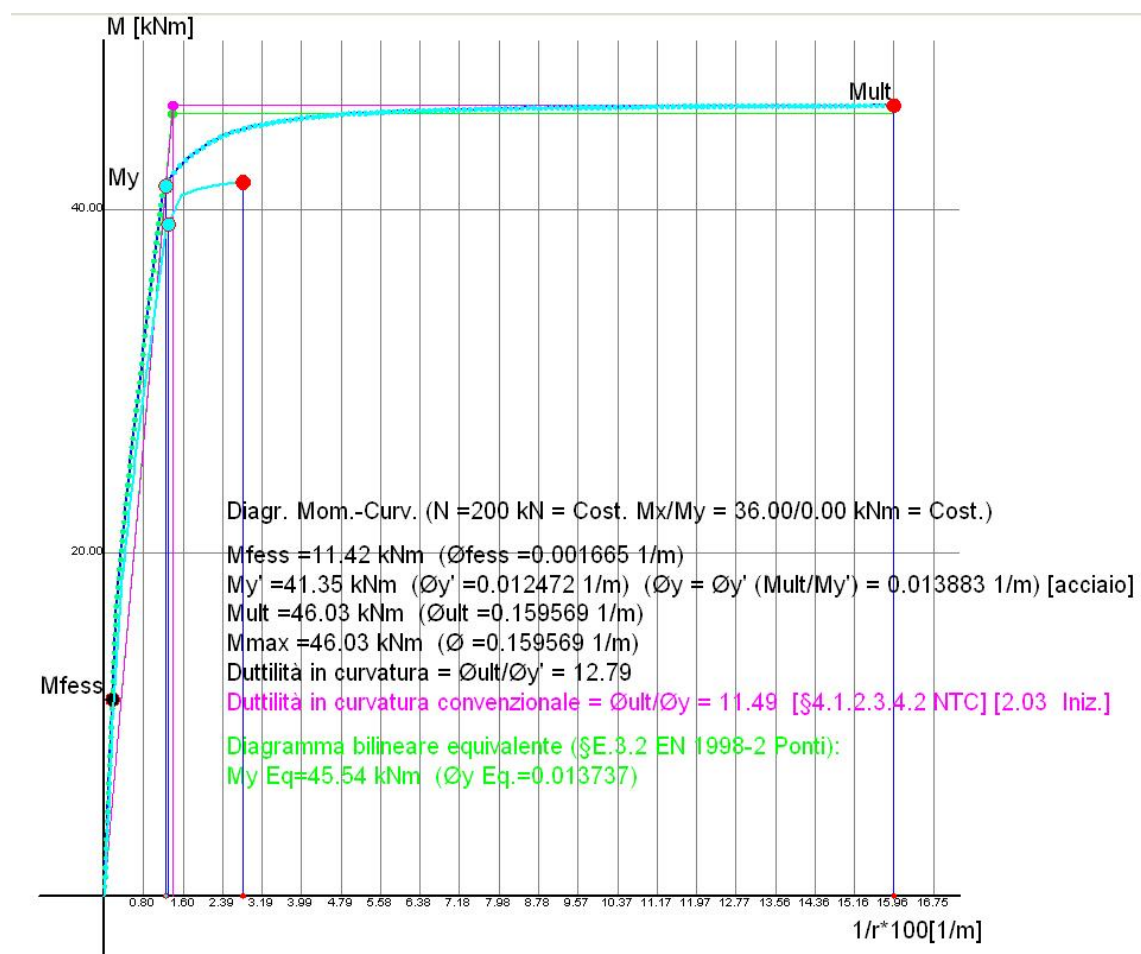
I diagrammi in titolo vengono costruiti sia in flessione retta che in deviata a sforzo normale costante per tutte le combinazioni SLU assegnate nella scheda sforzi^[40].

Si basano sui legami costitutivi dei materiali della sezione iniziale (con quelli del calcestruzzo eventualmente maggiorati in caso di confinamento) e su quelli dei materiali di rinforzo,

Questi diagrammi consentono di effettuare le verifiche dirette di duttilità previste dalla normativa [eq. (7.4.3)] o di ricavare le curvature di snervamento ed ultime necessarie ad un successivo calcolo sismico non lineare (pushover).

Contemporaneamente viene opzionalmente costruito e graficamente sovrapposto (per confronto) il diagramma della sola sezione non rinforzata iniziale.

Viene riportato di seguito il diagramma di un pilastro confinato con camicia in c.a. in cui gli strati del copriferro della camicia vengono, all'aumentare della curvatura, via via esclusi dal calcolo al raggiungimento della deformazione di rottura. Si spiega così l'andamento decrescente del diagramma (softening).



Stati limiti ultimi per tensioni normali

Capitolo



IV

4 Stati limiti ultimi per tensioni normali

Le brevi note che seguono riguardano i principali elementi normativi relativi agli stati limite ultimi per tensioni normali ed hanno il solo scopo di illustrare sinteticamente il quadro di riferimento teorico nel cui ambito operano i metodi di calcolo esposti nel seguito ed i relativi programmi allegati.

Per un approfondimento degli argomenti trattati si consiglia di avvalersi di testi specifici, alcuni dei quali sono elencati in bibliografia.

Secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite ultimi, la verifica di sicurezza di un elemento strutturale corrisponde al verificarsi, sezione per sezione, della seguente relazione simbolica:

$$E_d \leq R_d$$

in cui:

E_d rappresenta una sollecitazione di progetto (ad esempio uno sforzo flettente, torcente, etc.), prodotta dalle azioni agenti F_{dj} sulla struttura, valutate in base ai propri valori caratteristici e maggiorate in base a opportuni coefficienti di combinazione:

$$F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Fj}$$

R_d è il valore di calcolo della corrispondente sollecitazione resistente sviluppata dai materiali (rinforzi compresi) costituenti la sezione, le cui resistenze di calcolo sono ottenute:

- Per i materiali esistenti: dalle prove e dagli altri dati disponibili a partire dai valori medi di resistenza ed in base al livello di conoscenza prescelto.

- Per i materiali nuovi di rinforzo: a partire da quelle caratteristiche mediante l'applicazione di coefficienti riduttivi (detti parziali per le resistenze) allo scopo di assicurare il prefissato grado di sicurezza: $R_{di} = R_{ki} / \gamma_{Mi}$

4.1 Azioni di calcolo

Nella verifica delle costruzioni correnti agli stati limite ultimi vanno assunti come carichi caratteristici (nominali) agenti sulle strutture quelli riportati nel capitolo 3 "AZIONI SULLE COSTRUZIONI" delle NTC.

Dette azioni (carichi o deformazioni impresse) dovranno essere cumulate tra loro, nel modo più gravoso, secondo combinazioni di carico che, nel caso degli stati limite ultimi, vengono simbolicamente sintetizzate nella seguente forma (tra le azioni non figura la precompressione in quanto non trattata nelle presenti procedure di calcolo):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

essendo:

- G_1 il valore caratteristico del peso proprio della struttura
- G_2 il valore caratteristico dei pesi propri non strutturali
- Q_{ik} il valore caratteristico del generico carico variabile i
- Q_{1k} il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione

Q_{ik} il valore caratteristico delle azioni variabili tra loro indipendenti
 γ_{G1} = 1,3 (= 1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)
 γ_{G2} = 1,5 (= 0,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)
 γ_{G2} = 1,3 se i carichi portati sono compiutamente definiti
 γ_{Q1} = 1,5 (= 0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)
 ψ_{0i} = coefficienti di combinazione di tipo statistico sia per i carichi variabili di esercizio nei fabbricati (per abitazioni, uffici, negozi, scuole, autorimesse, ecc.) che per le azioni da neve e vento. I valori da assumere sono quelli riportati nella Tabella 2.5.1 delle NTC.

I

Se la struttura ricade in zona sismica l'azione sismica E per lo stato limite ultimo o per quello di danno (di esercizio connesso all'azione sismica) va combinata alle altre azioni mediante la seguente combinazione simbolica (3.2.16 NTC):

$$G_1 + G_2 + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

in cui:

G_1 valore caratteristico del peso proprio strutturale
 G_2 valore caratteristico dei carichi permanenti non strutturali
 Q_{kj} valore caratteristico delle azioni variabili j
 ψ_{2j} coeff. di combinazione quasi permanenti dei carichi variabili (Tab. 2.5.1 NTC)

Per gli stati limite di esercizio non connessi alle azioni sismiche sono valide tre ulteriori combinazioni (rara, frequente, quasi permanente) riportate nel paragrafo 2.5.3 NTC.

Ulteriori indicazioni sulla determinazione dei valori dei G_1 pesi propri strutturali, dei carichi permanenti G_2 non strutturali e dei carichi variabili caratteristici Q_k sono presenti nel capitolo 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - delle NTC.

ONI' delle NTC.

4.2 Sollecitazioni di progetto Ed

Una volta stabilite le varie azioni e combinazioni di carico, va effettuato il calcolo della struttura (qui pensata costituita da membrature lineari in c.a. ordinario) onde pervenire alla determinazione delle corrispondenti sollecitazioni di calcolo E_d .

Le NTC consentono, per la valutazione delle sollecitazioni, differenti metodi di analisi:

- analisi elastica lineare;
- analisi plastica;
- analisi non lineare.

Qualunque sia il tipo di analisi effettuata vanno inseriti, se rilevanti, gli effetti del secondo ordine (trascurabili solo se inferiori al 10% dei corrispondenti effetti del primo ordine. Vedi § 4.1.1.4 NTC)

4.3 Resistenze di calcolo dei materiali

La resistenza di calcolo f_{cd} a compressione del calcestruzzo di rinforzo (cioè di nuovo getto) da considerare nel calcolo agli stati limite ultimi per il conglomerato è la seguente (4.1.4) NTC:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c}$$

dove:

- α_{cc} = 0,85 = coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata;
- f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica del conglomerato (= 0,83 R_{ck});
- γ_c = 1,5 coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo.

Nel caso di calcestruzzo appartenente a sezione esistente (vedi § caratteristiche dei materiali (7^h)):

$$f_{cd} = f_{cm} / (c \text{ FC})$$

- f_{cm} = valore medio resistenza
- FC = Fattore di Confidenza

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) con spessori del conglomerato minori di 5 cm. la resistenza di calcolo va ridotta a 0,80 f_{cd} .

La resistenza di calcolo dell'acciaio di rinforzo (acciaio aggiunto) a snervamento f_{yd} è la seguente:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \quad (4.1.6) \text{ NTC}$$

dove:

- f_{yk} = resistenza caratteristica (o nominale) dell'acciaio allo snervamento;
- γ_s = 1,15 coefficiente di sicurezza parziale dell'acciaio.

Nel caso di acciai (privi di certificazioni) in sezioni esistenti:

$$f_{yd} = f_{ym} / (s \text{ FC})$$

dove:

- f_{ym} = resistenza media dell'acciaio allo snervamento;
- FC = Fattore di Confidenza

Resistenze FRP:

$$R_d = R\{X_d; \gamma_d\} / \gamma_d \quad (3.3) \text{ CNR2013}$$

$$\text{in cui:} \quad X_d = X_k / \gamma_f \quad (3.2) \text{ CNR2013}$$

Per l'approfondimento delle suddette relazioni si rimanda alle norme citate.

4.4 Sollecitazioni resistenti R_d

Le sollecitazioni resistenti vengono determinate a partire dalle resistenze di calcolo dei materiali e dalle leggi costitutive di comportamento dei materiali (diagrammi sforzi-deformazioni).

Per sollecitazioni semplici (sforzo normale, flessione, torsione) la verifica della sezione, a mezzo della relazione di sicurezza $E_d \leq R_d$, è immediata.

Per sollecitazioni composte (ad esempio presso-flessione) la verifica presuppone l'istituzione di un metodo di misura della sicurezza e la relazione precedente risulta essere, in questo caso, solo simbolica. Si supponga, ad esempio, che in una data sezione agiscano contemporaneamente le sollecitazioni di progetto N_{Ed} ed M_{Ed} (sforzo normale e momento flettente); ad esse corrispondono infinite coppie di valori resistenti N_R, M_R che nel loro insieme costituiscono la linea di frontiera di un dominio resistente. La misura della sicurezza, in questo caso, consiste nel controllare che il punto rappresentativo delle sollecitazioni di progetto allo stato limite ultimo ricada internamente o al più sulla linea di frontiera di tale dominio, detto di sicurezza.

La difficoltà del calcolo diretto delle sollecitazioni resistenti di frontiera, causato essenzialmente dalla non linearità del legame costitutivo dei materiali, ha indotto il normatore a proporre formulazioni semplificate come ad esempio quella relativa alla presso flessione deviata esposta nella formula (4.1.19) delle NTC. L'odierno generalizzato uso del personal computer nella pratica professionale consente l'uso di metodi iterativi (non lineari) diretti ed affidabili per la valutazione della sicurezza allo stato limite ultimo, come quelli utilizzati dal presente programma che rendono superfluo l'utilizzo di formule ed abachi semplificati.

L'esposizione di tali metodi viene sviluppata in dettaglio nel manuale del programma RC-SEC (per sezioni di nuova costruzione) in cui viene proposta una soluzione generale del problema della verifica a presso-tenso flessione retta e deviata di una sezione di forma generica. In questo programma tale soluzione viene estesa in modo da comprendere anche la presenza dei rinforzi FRP a flessione.

4.5 Stato limite ultimo per sforzo normale e momento flettente

La verifica delle sezioni di elementi monodimensionali allo stato limite ultimo in presenza delle sollecitazioni di sforzo normale N e momento flettente M , si basa sulle seguenti ipotesi:

- le sezioni si conservano piane fino a rottura;
- assenza di scorrimento relativo tra acciaio, calcestruzzo e materiali di rinforzo (FRP, incamicature in c.a., cerchiature con angolari e bande);
- il conglomerato teso a rottura è supposto totalmente fessurato per cui non fornisce alcun contributo alla resistenza;

- i tessuti e le lamine in FRP non hanno alcuna resistenza in compressione;
- per il conglomerato compresso nei calcoli di resistenza viene assunta la legge tensioni-deformazioni parabola-rettangolo descritta nel §4.1.2.1.2.2 NTC; nei calcoli di duttilità la legge impiegata resta parabola-rettangolo per il calcestruzzo non confinato e parabola-trapezio (tipo Kent-Park) per quello confinato.
- Per i tessuti e le lamine in FRP il diagramma di resistenza a trazione è sempre elastico lineare in trazione con tensione ultima che varia a seconda del tipo di impiego nella struttura:
- per l'acciaio è ammessa nel calcolo una deformazione unitaria massima in trazione e compressione pari a $\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk}$ essendo ε_{uk} la deformazione unitaria ultima. Il diagramma di calcolo σ - ε si deduce dal diagramma caratteristico con un'affinità parallela alla tangente all'origine nel rapporto $1/\gamma_s$.

4.6 Diagramma di calcolo del calcestruzzo

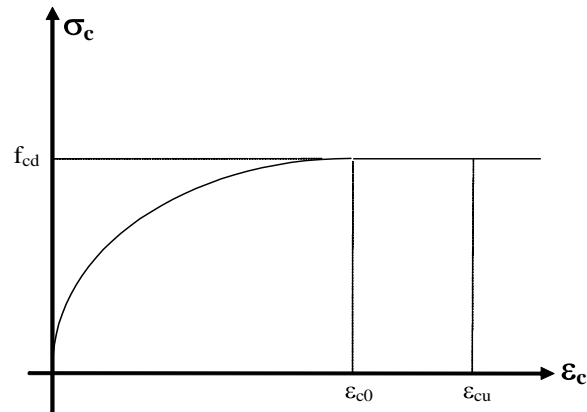
Calcestruzzi nuovi per il rinforzo

E' il caso di rinforzi che prevedano l'impiego di nuovo calcestruzzo che collabori con la trave o il pilastro esistente (solette aggiunte a travi o solai, incamiciatura in c.a. di pilastri). Per tali calcestruzzi di nuovo getto il programma utilizza il diagramma parabola-rettangolo previsto (tra gli altri) nel paragrafo 4.1.2.1.2.2 NTC e illustrato nella sottostante figura.

L'arco di parabola presenta il suo asse parallelo all'asse delle tensioni e un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni e tangente alla parabola nel punto di sommità. Il vertice della parabola ha ascissa ε_{c0} e la deformazione massima del segmento corrisponde a quella di ε_{cu} fissata dalle norme; l'ordinata massima del diagramma è pari a f_{cd} .

L'arco di parabola sopra definito è analiticamente rappresentato dalla seguente equazione (eq.(3.17) EC2-1 non fornita esplicitamente dalle NTC 2018):

$$\sigma = f_{cd} [1 - (1 - \varepsilon / \varepsilon_{c0})^n]$$



Il valore di ϵ_{c0} [indicato con ϵ_{c2} nelle NTC e nell'EC2-1] è pari a 0,002 per classi di resistenza pari od inferiore a C50/60 con $\epsilon_{cu} = 0,0035$. Per classi di resistenza superiori è (f_{ck} in Mpa):

$$\epsilon_{c0} = 0,002 + 0,000085 (f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (5.4)$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0026 + .0035 [(90 - f_{ck})/100]^4$$

Il valore dell'esponente n è 2 per per classi di resistenza pari od inferiore a C50/60, per classi superiori vale (prospetto 3.1 EC2-1):

$$n = 1,4 + 23,4 [(90 - f_{ck})/100]^4$$

Il diagramma impiegato per i calcoli di duttilità valutata in base al confinamento con staffe (incamiciatura o cerchiatura) o FRP verrà illustrato nel capitolo dedicato alle verifiche in termini di duttilità^[101]. Al riguardo si anticipa che sia la resistenza confinata f_c che le deformazioni ϵ_{c0} e ϵ_{cu} variano a seconda del grado di confinamento, mentre nel caso di calcestruzzo non confinato la resistenza viene assunta pari a quella media f_{cm} assegnata nell'apposita colonna dell'archivio materiali^[46]. Nel caso di calcestruzzo esistente detto valore medio va diviso per il Fattore di Confidenza FC solo se si cercano i parametri di duttilità da inserire in una verifica di rotazioni alla corda (pushover).

Calcestruzzi esistenti

Si utilizza sempre il diagramma parabola-rettangolo con le deformazioni ϵ_{c0} e ϵ_{cu} immutate.

La valutazione della resistenza di calcolo f_{cd} si basa sulla stima del valore medio f_{cm} ricavato in base al livello di conoscenza in cui si opera (vedi § Caratteristiche dei materiali^[7]). Si ha:

$$f_{cd} = f_{cm} / (c_c FC)$$

in cui $c_c = 1.5$ = coeff. parziale di sic. per il calcestruzzo

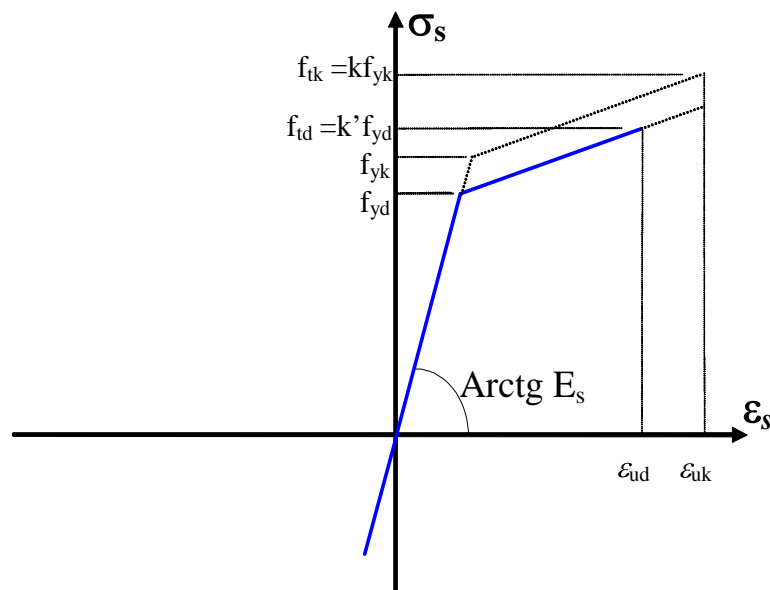
FC = fattore di confidenza associato al livello di conoscenza LC adottato (vedi Circolare NTC 2018).

Per i calcoli di duttilità possono assumersi invece le deformazioni ε_{c0} e ε_{cu} che variano a seconda se il calcestruzzo è confinato o meno (cfr verifiche in termini di duttilità^[101]); per il calcestruzzo non confinato la resistenza viene assunta pari a quella di progetto nei f_{ck} assegnata nell'apposita colonna dell'archivio materiali^[46].

4.7 Diagramma di calcolo dell'acciaio

Acciai nuovi per il rinforzo

Le NTC al §11.3.2 per le nuove costruzioni prescrivono in pratica un unico tipo di acciaio B450C in barre con tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$ ed una tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$ con $k=f_{tk}/f_{yk}$ (rapporto di sovrarresistenza) compreso tra 1,15 e 1,35 e $f_{yk}/450 < 1,25$. Per tale acciaio può assumersi il diagramma bilineare di figura avente il primo tratto a pendenza corrispondente al modulo di elasticità E_s (valore consigliato in EC2 pari a 200000 Mpa) ed il secondo tratto inclinato con pendenza $k = (f_t/f_y)_K$ pari cioè al rapporto di sovrarresistenza.



Come deformazione ultima di progetto va assunto il valore di $e_{ud} = 0,9 e_{ud}$ essendo e_{uk} la deformazione uniforme ultima che deve essere $\geq 0,075$ per l'acciaio B450C.

Volendo fissare, in assenza di specifici dati sperimentali, un diagramma di progetto che tenga conto del valore minimo di incrudimento $k=1,15$ si può porre:

$$f_{yd} = f_{yk}/g_s = 450,0/1,15 = 391,3 \text{ N/mm}^2$$

$$e_{ud} = 0,9 \times 0,075 = 0,0675$$

$$f_{td} = k \cdot f_{yd} = 1,15 \times 391,3 = 450,0$$

Nell'archivio materiali^[46] del programma è prevista un'apposita colonna per il valore di f_{td} necessario a definire il diagramma resistente del singolo acciaio onde poter valutare successivamente le sollecitazioni resistenti in presenza di incrudimento.

Le NTC consentono, in alternativa, l'utilizzo anche del tradizionale diagramma elastico perfettamente plastico ($k=1$) ma con deformazione ultima indefinita. Nel programma è comunque necessario fornire una deformazione ultima finita; fornendo ad esempio gli stessi valori di deformazione ultima prima indicati e $f_{td}=f_{yd}$ si può constatare come la rottura della sezione avvenga con deformazione ultima dell'acciaio quasi sempre inferiore a ϵ_{ud} (la rottura del calcestruzzo precede quasi sempre quella dell'acciaio).

Mettendo in conto l'incrudimento si ottiene una resistenza maggiore in pressotenso flessione.

Per l'acciaio da precompressione viene utilizzato lo stesso diagramma impiegato per gli acciai lenti sopra illustrato.

Per i calcoli di duttilità propedeutici al calcolo non lineare (pushover) è necessario fornire i valori medi f_{ym} e f_{tm} da associare a quelli medi del calcestruzzo. Il relativo diagramma caratteristico viene assunto affine a quello caratteristico assumendo un unico rapporto costante f_m/f_k da assegnare nell'ultima colonna della griglia dati degli acciai (sempre nell'archivio materiali). Questo rapporto può essere desunto dai dati del produttore o dai risultati delle prove di laboratorio.

Acciai esistenti

La valutazione della resistenza di calcolo f_{yd} si basa sulla stima del valore medio f_{ym} ricavato in base al livello di conoscenza in cui si opera (cfr.C8A.1.B Istruzioni NTC). Si ha:

$$f_{yd} = f_{ym} / (\gamma_s FC)$$

in cui $\gamma_s = 1.15$ = coeff. parziale di sicurezza per l'acciaio

FC = fattore di confidenza associato al livello di conoscenza L_c adottato.

Per la deformazione ultima ϵ_{ud} può assumersi il valore di 0.04 indicato nelle CNR2013.

Per i calcoli di duttilità può assumersi:

$$f_y = f_{ym} / FC$$

avendo posto $\gamma_s=1$.

Statistiche europee stimano f_{ym} maggiore del 15% del valore nominale di f_{yk} . Nei calcoli di duttilità il programma assume il valore ottenuto dal prodotto $f_m/f_k \cdot f_{yk}$ in cui il rapporto f_m/f_k è quello assegnato nell'ultima colonna della griglia acciai dell'archivio materiali^[46]. Lo stesso rapporto viene applicato per la definizione di f_{tm} .

4.8 Diagramma di calcolo FRP

Per i compositi FRP il diagramma è limitato alla sola trazione ed è sempre lineare fino al raggiungimento della tensione massima che dipende dalla resistenza alla delaminazione cioè dalla massima tensione trasferibile dal calcestruzzo al rinforzo (e non dalla sola resistenza ultima a trazione del solo materiale di rinforzo).

Le CNR 2013 definiscono una lunghezza ottimale di ancoraggio l_{ed} :

essendo:

$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\}, \quad (4.1)$$

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}. \quad (4.2)$$

con $\gamma_{rd} = 1.25$ è un coefficiente correttivo. Per il significato dei restanti simboli si rimanda al testo delle CNR 2013.

La tensione di rottura (e quindi la corrispondente deformazione ultima) di un composito FRP dipende dalla modalità di delaminazione:

Modalità di delaminazione di estremità (modalità 1)

Questa modalità si riferisce ai tratti terminali del rinforzo (e quindi in prossimità dei nodi di estremità dell'asta) al di là della lunghezza di ancoraggio L_e ed è molto penalizzante in termini di tensioni e deformazioni massime raggiungibili.

Il limite all'impiego dell'FRP nel rinforzo a flessione delle zone nodali risiede proprio nella necessità di fare riferimento a ditte fornitrici in grado di fornire un appropriato sistema di ancoraggio certificato e validato sulla base di una solida sperimentazione. Quindi negli adeguamenti sismici di travi e pilastri i rinforzi FRP sono solo raramente impiegati per l'incremento della resistenza a flessione alle estremità delle aste ma, piuttosto, per il rinforzo a taglio, compressione e duttilità.

Per le CNR-DT 200 2013 la tensione massima f_{fdd} è fornita dalla (4.4):

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

essendo γ_{fd} il coefficiente parziale per distacco va assegnato, a giudizio del progettista, nell'intervallo dei valori compresi tra 1.2 e 1.5. Valgono le stesse considerazioni svolte nel precedente paragrafo.

Modalità di delaminazione intermedia (modalità 2)

Le CNR 2013 nei tratti centrali delle travi dove sia necessario incrementare il momento resistente M_{Rd} si utilizzano il seguente valore della tensione massima del composito:

Le CNR 2013 valutano la $f_{fdd,2}$ con la seguente formula:

$$f_{fdd,2} = \frac{k_g}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{E_f}{t_f} \cdot \frac{2 \cdot k_b \cdot k_{G,2}}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}} \quad (4.6)$$

essendo in particolare:

$\gamma_{f,d}$ il coefficiente parziale per distacco va assegnato, a giudizio del progettista, nell'intervallo dei valori compresi tra 1.2 e 1.5.

FC il fattore di confidenza assunto per il calcestruzzo della sezione esistente

k_b un coefficiente che tiene conto della condizione di carico, pari a 1.25 (assunto per default dal programma) per prevalenti carichi distribuiti e 1.0 negli altri casi.

Il corrispondente valore della deformazione di progetto è ovviamente:

$$\epsilon_{fdd} = f_{fdd,2} / E_f$$

Valgono le stesse considerazioni svolte nel precedente paragrafo.

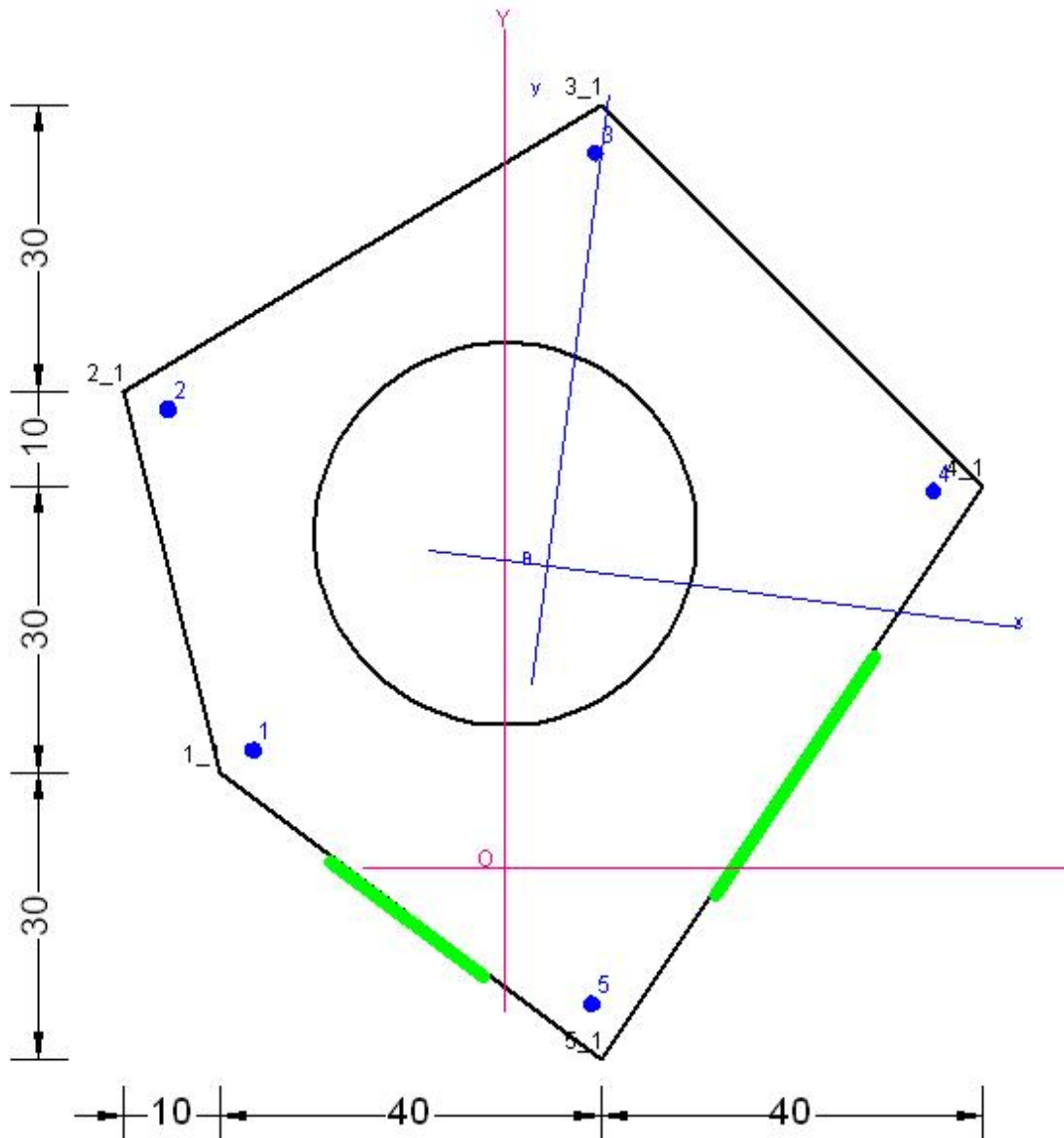
4.9 Campo di applicazione e convenzioni

I procedimenti di calcolo che verranno illustrati nei successivi paragrafi consentono, sulla base di un'unica formulazione generale del problema, di verificare allo stato limite ultimo, per sollecitazioni che provocano tensioni normali (presso o tenso-flessione retta o deviata), una sezione in c.a. normale di forma generica.

La teoria sulla quale si basano gli algoritmi impiegati presuppone sezioni di tipo compatto; non sono cioè ammesse sezioni sottili aperte in quanto poco consistenti con l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane.

La generica sezione è rappresentata geometricamente a mezzo di uno o più domini (fino a 10 compresi eventuali domini di rinforzo) di tipo poligonale chiuso o circolare posti tutti sul medesimo quanto arbitrario piano cartesiano O,x,y , individuati rispettivamente dalle coordinate dei vertici o dal raggio e dalle coordinate del centro del cerchio. Le armature, costituite da tondini in acciaio, sono schematizzate come puntiformi ed individuate dalle coordinate e dall'area dei singoli tondini. Nelle sezioni generiche i rinforzi a flessione (FRP o lamine in acciaio) possono essere applicati su uno o più lati della sezione; nelle sezioni predefinite solo all'intradosso e all'estradosso. L'incamiciatura (in c.a. o FRP) è prevista per le sezioni rettangolari e circolari predefinite e per quelle poligonali convesse generiche.

Nel caso delle sezioni cave (come quella rappresentata nella sottostante figura) il programma non prevede le verifiche a taglio in quanto i puntoni diagonali di calcestruzzo sono interrotti dalla cavità rendendo inapplicabile la teoria del traliccio a taglio resistente su cui si basano le formule di verifica della normativa; in questi casi occorre effettuare separatamente la verifica su schemi parziali semplificati nelle due direzioni di verifica (ad es. suddividendo la sezione in sottosezioni e ripartendo tra di esse il taglio agente).



In figura è rappresentata, come esempio di tale generalità, una sezione cava costituita dall'insieme di un dominio poligonale pentagonale (dominio pieno) e da un dominio circolare (dominio vuoto) riferiti al sistema cartesiano O, X, Y . Sui lati 1-4 e 4-5 sono stati applicati tessuti FRP di rinforzo a flessione (in verde). Le sollecitazioni N, M_x, M_y vanno invece riferite agli assi principali d'inerzia della sezione di solo calcestruzzo (in particolare lo sforzo normale N , positivo se di compressione, è applicato in corrispondenza del baricentro B del riferimento inerziale). Le tensioni sono considerate positive se di compressione. Le deformazioni unitarie e sono positive se corrispondono ad accorciamento.

4.10 Calcolo per sollecitazione retta

In riferimento alle leggi costitutive del conglomerato, prima illustrate, nei seguenti due successivi paragrafi vengono sviluppati i corrispondenti tipi di integrazione delle tensioni operate lungo l'altezza della generica sezione.

Tali integrazioni sono riferite a due generici assi cartesiani x-y di riferimento della sezione e, pertanto, lo sforzo normale N risultante sarà applicato nell'origine O di tali assi, mentre, il momento flettente M_x (considerando per ora solo sollecitazioni rette) sarà riferito all'asse x.

Poiché, in genere, le sollecitazioni resistenti sono riferite agli assi baricentrici della sezione di solo conglomerato, a valle delle suddette integrazioni verrà sempre valutato il momento flettente baricentrico:

$$M_{x_B} = M_x - N y_B$$

in cui y_B è l'ordinata del baricentro della sezione di solo conglomerato e lo sforzo normale N è ora pensato applicato in tale baricentro.

In presenza anche di M_y (sollecitazione deviata) il confronto tra le sollecitazioni agenti e resistenti verrà sempre riferito agli assi principali d'inerzia della sezione di solo conglomerato.

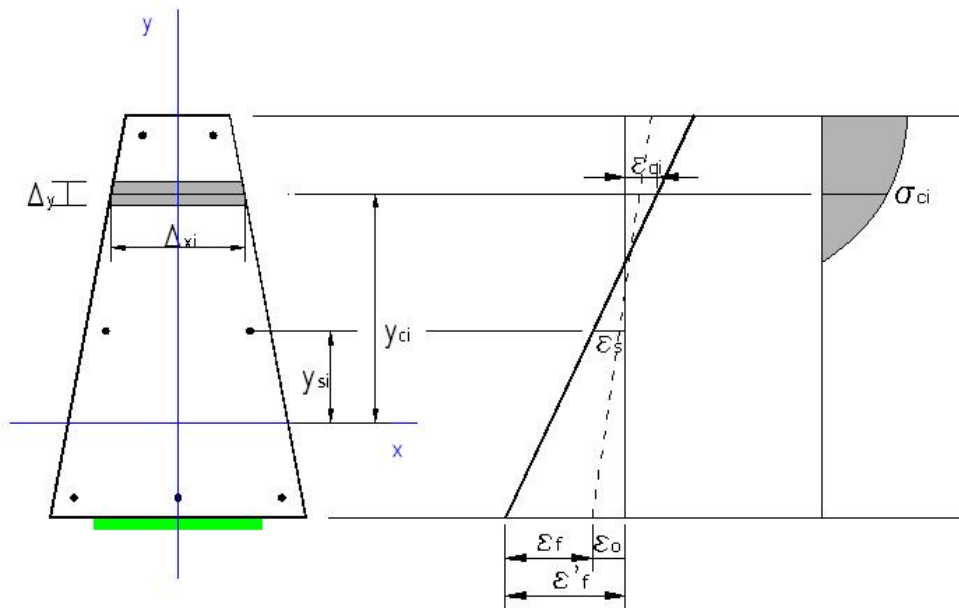
Nel caso, qui esaminato, di sollecitazione retta si fa l'ulteriore ipotesi che un asse principale d'inerzia risulti parallelo sia all'asse X del riferimento assunto, sia all'asse neutro. Ipotesi a rigore valida solo per sezioni simmetriche rispetto all'asse y baricentrico, ma che può estendersi con buona approssimazione anche a travi con vincoli strutturali in direzione dell'asse x quali sono ad esempio le travi di impalcato vincolate da solai e le travi di fondazione vincolate quanto meno dal terreno di appoggio.

4.11 Integrazione delle tensioni

Prima di operare l'integrazione viene effettuata una preventiva discretizzazione della sezione in n strisce parallele all'asse neutro aventi tutte il medesimo spessore Δy denominato in programma passo di discretizzazione. Detto passo (impostato inizialmente a 0,5 cm) può essere variato nelle opzioni di calcolo^[52] del programma in funzione delle dimensioni della sezione in esame (per sezioni di pile da ponte ad esempio si consiglia un passo da 1 a 2 cm).

La larghezza della singola striscia viene assunta pari a quella Dx_i del segmento ottenuto dall'intersezione della linea media passante per il punto di mezzo dello spessore Δy . L'area della generica striscia i sarà, quindi, fornita da:

$$A_{ci} \approx \Delta x_i \cdot \Delta y$$



Con le notazioni di figura gli sforzi N , M_x , riferiti agli assi generici x - y e per una qualunque posizione della retta di deformazione della sezione, sono dati dalle seguenti equazioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione:

$$N = \int_{A_c} \sigma_c \cdot dA_c + \sum A_{si} \sigma_{si} \cong \sum_n A_{ci} \sigma_{ci} + \sum A_{si} \sigma_{si}$$

$$M_x = \int_{A_c} \sigma_c \cdot y_c \cdot dA_c + \sum A_{si} \sigma_{si} y_{fi} \cong \sum_n A_{ci} \sigma_{ci} y_{ci} + \sum A_{si} \sigma_{si} y_{fi}$$

Nelle sommatorie, riferite solo al calcestruzzo ed acciaio della sezione iniziale, si è assunta la tensione σ_{ci} del conglomerato costante su tutta l'area A_{ci} della generica striscia i , ed il suo valore computato (sul diagramma di calcolo σ -) in corrispondenza della deformazione unitaria letta all'altezza della fibra media della striscia medesima.

A dette sommatorie vanno aggiunti gli sforzi dei materiali di rinforzo tenendo conto della deformazione iniziale presente prima del rinforzo (linea tratteggiata in figura). Nel caso illustrato relativo ad un rinforzo FRP applicato all'intradosso, la deformazione finale della sezione in corrispondenza del rinforzo ϵ'_f va ridotta della deformazione pre-rinforzo ϵ_o in corrispondenza della stessa fibra. Il contributo del rinforzo agli sforzi vale pertanto:

$$\begin{aligned} \Delta N &= A_f E_f (\epsilon'_f - \epsilon_o) \\ \Delta M_x &= A_f E_f y_f (\epsilon'_f - \epsilon_o) \end{aligned}$$

dove A_f , E_f , y_f sono l'area, il modulo elastico e l'ordinata del rinforzo.

Lo stesso tipo di incremento degli sforzi va applicato nel caso di barre nuove di rinforzo o di placcaggio con lamine in acciaio.

Il suddetto procedimento di integrazione numerica viene applicato per il calcolo della resistenza a presso-tenso-flessione della sezione rinforzata.

Va ricordato che il § 4.2.2.2 CNR2013 indica che la deformazione pre-rinforzo può essere valutata nell'ipotesi di comportamento elastico lineare dei materiali. Quindi prima di poter effettuare le integrazioni per la sezione rinforzata il programma

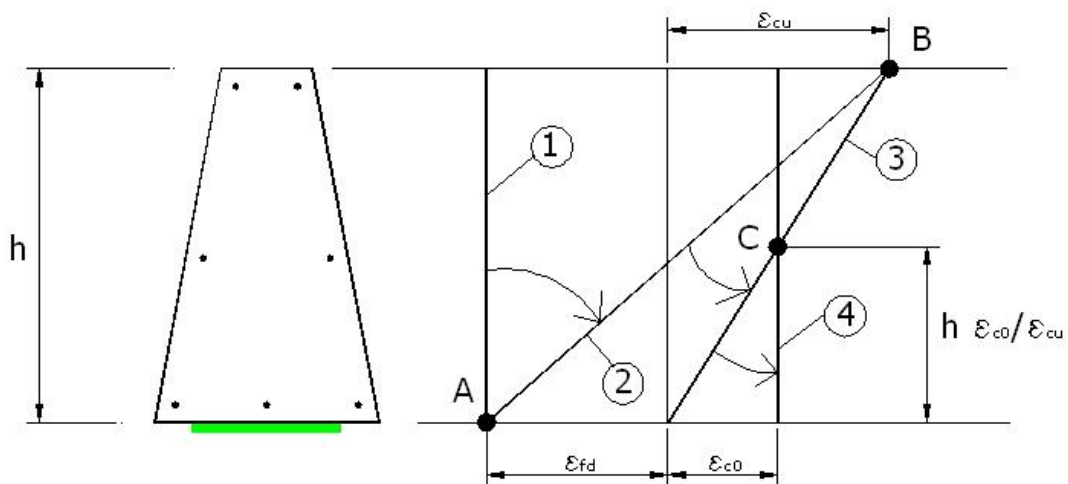
esegua un calcolo lineare della sezione iniziale con un coefficiente di omogeneizzazione medio forfaitizzato pari a $n=15$ e trascurando la resistenza a trazione del calcestruzzo (in realtà il programma utilizza il valore del modulo elastico dell'acciaio - di solito assunto pari a 200000.0 N/mm^2 - ed un modulo elastico per il calcestruzzo pari a $200000/15 = 13333.3 \text{ N/mm}^2$).

Il momento resistente ultimo baricentrico viene, infine, ottenuto mediante l'applicazione della:

$$M_{x_B} = M_x - N \cdot y_B$$

Le semplici integrazioni numeriche sopra descritte conducono a risultati tanto più vicini a quelli esatti quanto più piccolo è il passo di discretizzazione Δy assunto preventivamente nei calcoli. Nelle numerose prove di calcolo eseguite per sezioni di svariata forma e grandezza, eccellenti approssimazioni nei risultati sono state ottenute assumendo $\Delta y = 0,5 \text{ cm}$. Riducendo ulteriormente tale passo i risultati in termini di sforzi resistenti variano di quantità sempre trascurabili.

4.12 Campi di rottura



Si consideri la generica sezione soggetta, per semplicità di esposizione, ad una sollecitazione retta. Per l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane assunta e per le già descritte limitazioni imposte alle deformazioni unitarie di conglomerato, acciaio e rinforzi FRP, le configurazioni deformate della sezione corrispondenti alle varie possibilità di rottura, passano tutte almeno per uno dei punti denominati A, B, C di figura. Nella medesima figura sono pure rappresentate le posizioni 1-2-3-4 (denominate assetti principali per curvatures positive) della deformata unitaria corrispondenti a configurazioni di passaggio da un tipo di rottura (campo di rottura) all'altro.

Il primo campo di rottura si ottiene, infatti, ruotando la deformata intorno al punto A (pivot A), a partire dall'assetto 1 verso l'assetto 2. Il secondo campo si ottiene a partire dall'assetto 2, ruotando la deformata intorno a B fino a portarsi sull'assetto 3.

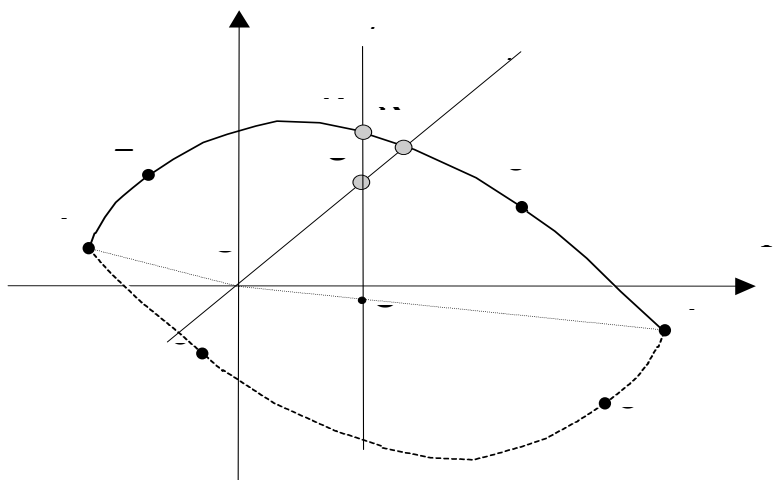
Il terzo campo, infine, parte dall'assetto 3 e va fino al 4, con una rotazione intorno al pivot C.

La definizione di tali ulteriori campi, delimitati da altrettanti assetti limite, risulta superflua nel procedimento numerico diretto impiegato per la misura della sicurezza, oggetto del paragrafo seguente.

Nel caso, come quello in figura, in cui sull'intradosso (o sull'estradosso nel caso di curvatura negativa) della sezione sia applicato un rinforzo FRP a flessione l'assetto A (deformazione massima di trazione a curvatura nulla) viene definito dalla minore (in valore assoluto) delle deformazioni ultime di trazione tra quelle delle barre di acciaio e dell'FRP. Pertanto il pivot A sarà posizionato di slito nel punto avente una deformazione massima pari a ϵ_{fd} (def. ultima di calcolo FRP) situato sulla fibra di intradosso della sezione invece che all'altezza del baricentro delle barre inferiori con deformazione pari a ϵ_{su} . Gli altri assetti che non interessano i materiali di rinforzo restano immutati.

L'integrazione delle tensioni per i 6 assetti fornisce le 6 coppie di valori di base N, Mx, necessarie per il calcolo della resistenza della sezione di cui al successivo paragrafo.

4.13 Calcolo presso-tenso flessione retta



In figura è rappresentata una generica curva di interazione delle sollecitazioni resistenti ultime N, Mx riferite al baricentro della sezione di solo conglomerato.

Detta curva, che rappresenta la frontiera del dominio di sicurezza, potrebbe essere facilmente costruita per punti facendo assumere alla retta di deformazione unitaria, mostrata nel paragrafo relativo ai campi di rottura^[76], una successione di posizioni caratterizzate tutte dal raggiungimento della deformazione ultima di almeno uno dei materiali impiegati. In particolare i punti 1-2-3-4 di frontiera in figura corrispondono agli stessi assetti precedentemente descritti e riferiti a curvature positive; i punti 5-6 si riferiscono ai punti corrispondenti a 2-3 ma caratterizzati da curvature negative.

Per ottenere tali punti caratteristici della frontiera (assetti principali) basta eseguire le integrazioni delle tensioni^[74] prima definite assumendo una espressione analitica della deformazione rettilinea del tipo:

$$\epsilon(y) = b y + c \quad (1)$$

in cui :

$$b = \chi_x = \text{curvatura intorno all'asse } x$$

$$c = \varepsilon_0 = \text{deformazione in corrispondenza dell'origine } O \text{ degli}$$

assi di riferimento

I coefficienti b, c della retta (1), vengono determinati a partire dalle deformazioni $\varepsilon_P, \varepsilon_Q$ di due punti P,Q qualsiasi della sezione aventi ordinate corrispondenti y_P, y_Q :

$$b = (\varepsilon_P - \varepsilon_Q) / (y_P - y_Q)$$

$$c = \varepsilon_Q - b y_Q$$

Una volta definita, a mezzo della (1), la deformazione unitaria della sezione in corrispondenza dei 6 assetti principali^[76] prima indicati, è facile calcolare un qualunque punto $\{N, M_x\}$ di frontiera intermedio tra due generici assetti principali consecutivi i, j . Con riferimento alla figura si supponga di voler calcolare un punto della frontiera ricadente tra gli assetti principali 2 e 3, cui corrispondono le già note curvatures b_2 e b_3 riferite al pivot B definito nel precedente paragrafo^[76]. Assegnata, pertanto, una qualsiasi curvatura b intermedia compresa tra b_2 e b_3 , ed indicate con y_B, ε_B rispettivamente l'ordinata e la corrispondente deformazione unitaria del pivot B, si ottiene subito il coefficiente c della (1):

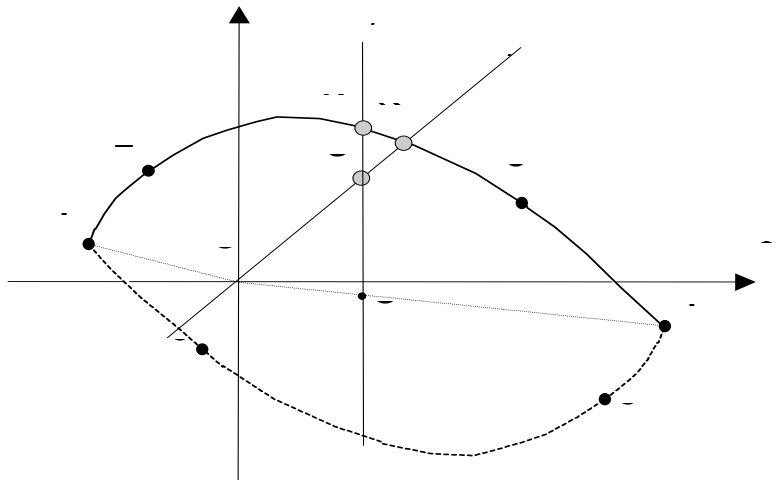
$$c = \varepsilon_B - b y_B \quad [b_2 < b < b_3]$$

L'integrazione delle tensioni^[74] fornisce, infine, la coppia dei valori di frontiera N, M_x cercati.

Suddiviso l'intervallo $b_2 - b_3$ in un numero qualsiasi n di curvatures, si ottengono in corrispondenza n punti rappresentativi di altrettante coppie di sforzi $\{N, M_x\}$ che infittiscono il campo di rottura in studio. Estendendo tale procedimento ai 6 campi di rottura complessivamente individuati in figura, si può ottenere facilmente per punti l'intero dominio resistente di progetto.

Il programma per ogni sezione predefinita calcolata è in grado di rappresentarne graficamente il relativo dominio di rottura $N-M_x$ mediante una spezzata congiungente una serie di almeno 60 punti calcolati analiticamente. A richiesta a tale dominio può sovrapporre (per eventuale confronto) con quello della sezione iniziale non rinforzata.

4.14 Misura della sicurezza



Assegnata una generica coppia di sollecitazioni di progetto $\{N_S ; M_{x_S}\}$ rappresentata in figura dal punto S, la sezione si considera verificata se S risulta interno al dominio di resistenza o al più appartenente alla curva di frontiera del dominio medesimo. Il problema sarebbe esaurito se si volesse operare tale controllo per via grafica sulla scorta di un abaco di calcolo adimensionalizzato. Volendo, invece, esprimere il controllo per via numerica (come appare più naturale utilizzando l'elaboratore) occorre scegliere una retta passante per il punto S, determinarne l'intersezione R con la frontiera del dominio e considerare verificata la sezione se il rapporto tra le lunghezze dei segmenti \overline{OR} ed \overline{OS} risulti non minore di 1, essendo O un punto qualsiasi della retta purché interno al dominio.

Una delle rette più spesso utilizzata per il confronto è quella passante per l'origine O degli assi N-Mx denominata r in figura. È importante, per poter effettuare tale confronto, essere preventivamente sicuri che l'origine O sia interna al dominio. Per sollecitazioni rette ciò in generale è vero, a condizione di riferire i momenti Mx (e quindi il dominio di resistenza) al baricentro della sezione di conglomerato. Per il medesimo motivo, nel caso generiche sollecitazioni deviate, il dominio verrà sempre riferito ai momenti valutati rispetto agli assi principali d'inerzia.

Sempre in figura è illustrata un'altra frequente modalità di misura della resistenza che utilizza, questa volta, la retta r' parallela all'asse Mx. Si osservi che il punto O', assunto come origine dei segmenti di questa misura, è stato scelto in corrispondenza dei due segmenti congiungenti (tratteggiati in figura) l'origine O con gli assetti 1 e 4; ciò sempre allo scopo di assicurare la condizione di appartenenza al dominio del punto O' stesso, in quanto necessaria per poter operare il controllo numerico (la misura della sicurezza è data, in questo caso, dal rapporto $\overline{O'R} / \overline{O'S}$).

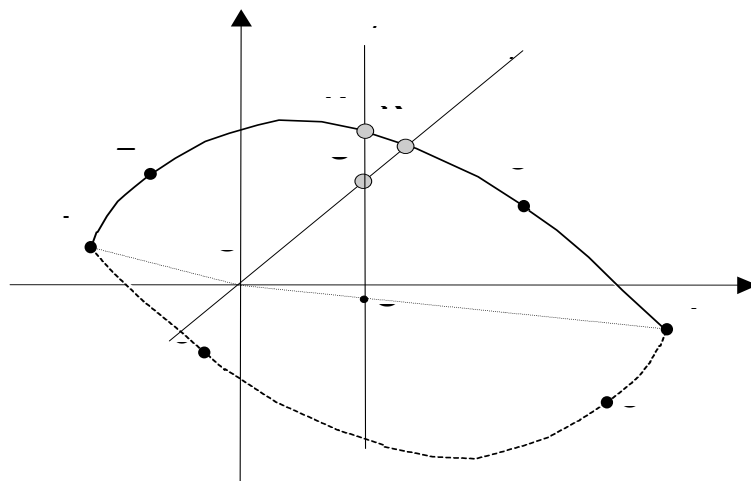
La retta r corrisponde alla misura cosiddetta ad eccentricità costante ($e = Mx/N = \text{cost.}$). La retta r' corrisponde invece alla misura a sforzo normale costante.

Il programma consente, nella scheda dei dati generali¹³⁾, la possibilità di operare preventivamente la scelta opzionale tra le due descritte misure della sicurezza.

Le due denominazioni attribuite alla misura non vanno intese come una corrispondente modalità di accrescimento delle sollecitazioni esterne all'evolversi della storia dei carichi, in quanto il punto S esprime il valore finale della combinazione dei carichi in esame e non un valore di passaggio. La circostanza per cui gli sforzi S possano ricadere esternamente al dominio in una fase intermedia di accrescimento dei carichi per poi rientrarvi nell'assumere i valori finali, viene esclusa dall'obbligo previsto dalle norme, di dover considerare, nella verifica semiprobabilistica, tutte le combinazioni di carico (anche quelle intermedie).

La verifica della sezione sarà, in definitiva, ugualmente soddisfatta scegliendo, per la misura, sia la retta r che la r' . Il rapporto tra segmenti $\overline{OR} / \overline{OS}$ (misura della sicurezza) non è quindi univoco e non esprime un vero coefficiente di sicurezza, fornendo solo un'indicazione sulle ulteriori eventuali risorse di resistenza (nel caso, ad esempio, risulti molto maggiore di 1 va considerata l'ipotesi di ridimensionare la sezione o le armature in eccesso).

4.15 Calcolo diretto della resistenza



Per evitare la più lunga elaborazione necessaria all'individuazione per punti dell'intero dominio resistente, si calcolano inizialmente solo gli sforzi resistenti corrispondenti agli assetti principali 1-2-3-4 (per semplicità di esposizione si considerano solo i campi di rottura a curvatura positiva).

L'espressione analitica della retta generica r (o r') di figura, è del tipo:

$$l \cdot N + m \cdot Mx + p = 0 \quad (1)$$

in cui i coefficienti l , m , p sono immediatamente deducibili imponendo la condizione di passaggio della retta r per il punto S $\{N_S ; M_S\}$ assegnato e per l'origine O (oppure O') della misura. L'intersezione $R\{N_R, M_R\}$ ricercata appartiene al campo di rottura (tra i 3 individuati rispettivamente dagli archi di frontiera 1-2, 2-3, 3-4) nel quale le coordinate dei suoi estremi facciano assumere valori di segno opposto al primo membro della $Mx_B = Mx - N \cdot y_B$. Individuato così il campo di rottura entro cui cade l'intersezione R, è automaticamente individuato il pivot (punto A per l'arco 1-2, B per 2-3, C per 3-4) per cui passa la retta di

deformazione unitaria ϵ^c corrispondente al punto di rottura R. Noto il pivot, l'unico parametro incognito resta, a questo punto, solo il valore della curvatura, compreso tra le curvature limiti corrispondenti ai due assetti principali che delimitano l'individuato campo di rottura. Con il procedimento della bisezione si determina (ad ogni valore di curvatura di tentativo corrisponde una integrazione numerica sull'intera sezione), il valore intermedio della curvatura cui corrisponde il soddisfacimento della (1) entro una prefissata tolleranza.

4.16 Calcolo per presso-tenso flessione deviata

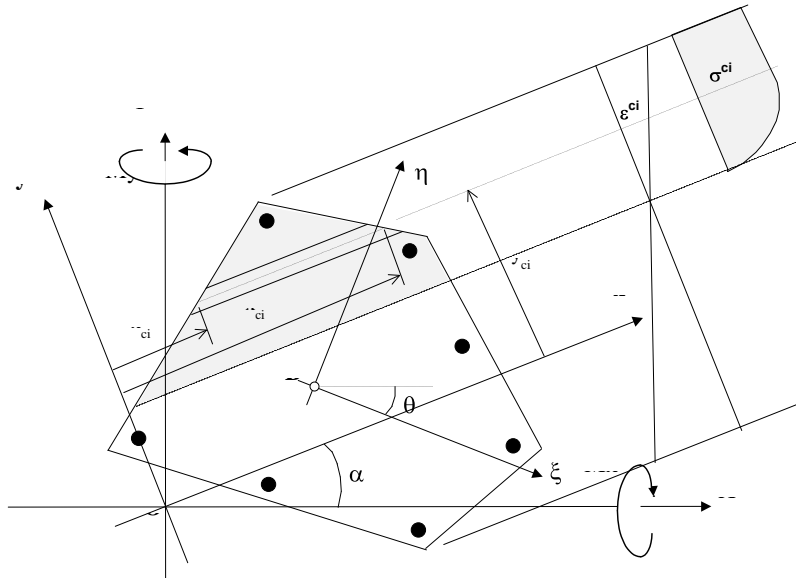


Fig.1

Si consideri la generica sezione di figura avente geometria e sforzi esterni riferiti al sistema X,Y generale di assi. Siano, inoltre ξ, η gli assi principali d'inerzia della sezione di solo conglomerato definiti dalle coordinate del baricentro B e dall'angolo θ formato dall'asse ξ con l'asse X.

A differenza del caso trattato nei precedenti paragrafi e relativo alle sole sollecitazioni rette, l'asse neutro di una qualsiasi deformazione ultima non è, in generale, parallelo all'asse X, formando con questo un angolo α . Al fine di utilizzare lo stesso tipo di integrazione numerica effettuata tramite la precedente espressione (5.5), si riferisce la sezione agli assi x^*, y^* ruotati di α ed aventi la stessa origine O. In questo sistema di riferimento l'asse neutro è sempre parallelo all'asse x^* e ad esso sono ancora riferibili le sollecitazioni resistenti di cui alle (5.5), completate, in questo caso, dalla componente M_{y^*} .

L'integrazione numerica può eseguirsi con le seguenti sommatorie:

$$\begin{aligned}
 N &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot dA_c + \sum A_{si} \cdot \sigma_{si} && \cong \sum_n A_{ci} \sigma_{ci} + \sum A_{si} \sigma_{si} \\
 M_{x^*} &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot y_c \cdot dA_c + \sum A_{si} \sigma_{si} \cdot y_{fi} && \cong \sum_n A_{ci} \sigma_{ci} y_{ci} + \sum A_{si} \sigma_{si} y_{fi} \\
 M_{y^*} &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot (-x_c) \cdot dA_c - \sum A_{si} \sigma_{si} \cdot x_{fi} && \cong -\sum_n A_{ci} \sigma_{ci} x_{ci} - \sum A_{si} \sigma_{si} x_{fi}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

in cui, con riferimento alla generica striscia discreta i di figura si è posto:

$$A_{ci} = (x_{ci}^2 - x_{ci}^1) \times \Delta y \tag{2}$$

$$x_{ci} = (x_{ci}^2 + x_{ci}^1) / 2$$

Anche qui l'analisi allo SLU è preceduta dal calcolo elastico della sezione sottoposta ai carichi di esercizio pre-rinforzo. L'integrazione numerica deve comprendere, inoltre, le aree e le tensioni degli acciai e tessuti FRP aggiunti. Le tensioni dei rinforzi vanno calcolate riducendo la deformazione del valore corrispondente ai carichi pre-rinforzo: ϵ_{c0} (vedi integrazioni delle tensioni [74]).

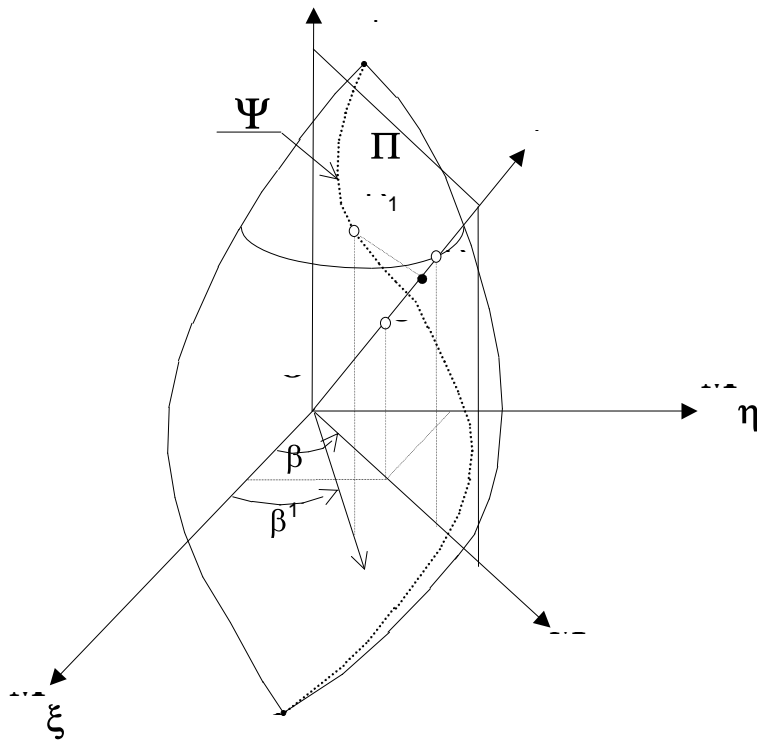


Fig.2

Le sollecitazioni flettenti resistenti vanno comunque riferite agli assi principali d'inerzia ξ , η della sezione di solo conglomerato:

$$M_{\xi} = Mx^* \cos \theta + My^* \sin \theta + N y_R$$

$$M_{\eta} = -Mx^* \sin \theta + My^* \cos \theta - N x_R$$

in cui con x_R, y_R sono indicate le coordinate dell'origine O riferite agli assi principali d'inerzia. La generica sollecitazione esterna S , in definitiva, è caratterizzata in generale dalle tre componenti $\{N_{sd}, M_{\eta_{sd}}, M_{\xi_{sd}}\}$, che vanno confrontate, secondo una prefissata direzione r di misura, con le corrispondenti sollecitazioni resistenti $R \{N_{Rd}, M_{\eta_{Rd}}, M_{\xi_{Rd}}\}$ ottenute dall'intersezione della retta r con il dominio resistente, che in questo caso è racchiuso da una superficie di frontiera nelle tre dimensioni come indicato in Fig. 5.9.

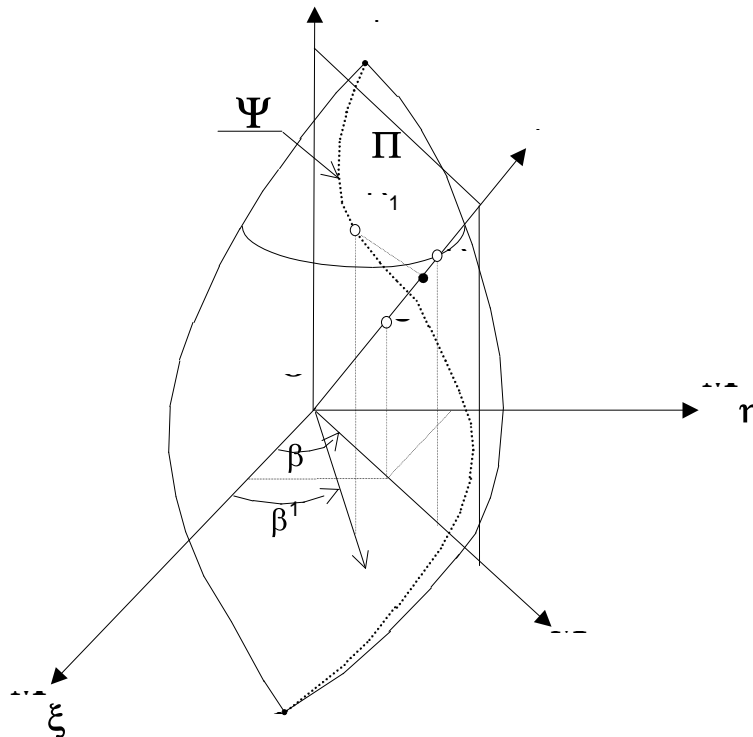
Ad ogni punto di questa superficie corrisponde una configurazione limite della sezione caratterizzata, cioè, dal raggiungimento della deformazione unitaria ultima da parte del conglomerato o dell'acciaio. In particolare i punti di cuspidi 1 e 4, corrispondono alla massima deformazione della sezione a curvatura nulla rispettivamente per dilatazione e per accorciamento.

Si supponga adesso di bloccare la direzione dell'asse neutro (angolo α di fig. 1) facendo assumere alla deformata della sezione ($\varepsilon(y^*) = b y^* + c$) gli stessi assetti limite descritti nel paragrafo relativo ai campi di rottura [76]. L'applicazione delle (1) e poi delle (2) conduce alla determinazione di un insieme di punti $\{N, M\xi, M\eta\}$, che costituiscono una determinata curva spaziale di interazione ψ , appartenente alla superficie di frontiera del generico dominio di resistenza, del tipo di quella rappresentata in figura. Tale curva di interazione spaziale è l'equivalente della curva piana tracciata per sollecitazioni rette.

Facendo variare l'angolo α (cioè la direzione dell'asse neutro) da 0 a 2π e ripetendo le integrazioni si otterrebbe un fascio di curve di interazione ψ che nel loro insieme verrebbero a costituire l'intera superficie tridimensionale di interazione. Poiché tutte le curve ψ ammettono gli stessi assetti principali 1 e 4, esse iniziano e terminano tutte in tali punti di cuspidi del dominio.

Si deve a questo punto osservare che per effettuare la verifica di una sezione in presso-tenso flessione deviata sarebbe eccessivamente oneroso, in termini di tempi di elaborazione, costruire per punti l'intero dominio resistente. Nel prossimo paragrafo viene, pertanto, sviluppata una strategia iterativa legata al metodo di misura della resistenza adottato, onde abbreviare drasticamente i tempi di verifica.

4.17 Misura della sicurezza ad eccentricità costante



Questa misura viene operata in perfetta analogia al criterio di misura della sicurezza ad eccentricità costante sviluppato relativamente alle sollecitazioni rette^[79]. Definito il punto **S** come rappresentativo degli sforzi esterni $\{N_{sd}, M\xi_{sd}, M\eta_{sd}\}$, la misura della sicurezza è fornita (vedi figura) dal rapporto tra i moduli dei segmenti \overline{OR} ed \overline{OS} misurati sulla retta r appartenente al piano Π passante per l'asse degli sforzi normali N e caratterizzato dal formare con l'asse $M\xi$ l'angolo costante β :

$$\beta = \arctan (M\eta_{sd} / M\xi_{sd}) \quad (1)$$

Il problema di verifica così posto consiste nel ricercare quella particolare direzione α dell'asse neutro la cui corrispondente curva spaziale di interazione Ψ intersechi il piano Π proprio nel punto **R** di intersezione tra la retta r di misura e la superficie di interazione. Appartenendo il punto **R** al piano Π , le relative componenti $M\eta_{Rd}$, $M\xi_{Rd}$ formano, pertanto, lo stesso angolo β espresso dalla (1).

L'ultima considerazione espressa fornisce la chiave del criterio di convergenza adottato. Tenendo fisso, infatti, un valore di tentativo dell'angolo α (direzione asse neutro) si risolve un problema di verifica ad eccentricità costante per presso-flessione retta applicato ad una curva di interazione piana N-M, in cui il singolo momento M di frontiera è costruito a partire dalla proiezione delle componenti $M\xi_R$, $M\eta_R$ (generico punto della curva tridimensionale Ψ) sul piano Π :

$$M = M\xi_R \cdot \cos \beta + M\eta_R \cdot \sin \beta$$

Sia **R1** $\{N_1, M\xi_1, M\eta_1\}$ il punto della curva Ψ corrispondente alla soluzione trovata sulla retta di misura nel piano N-M ipotizzato. Tale punto apparterrà al piano Π e, quindi, sarà la soluzione del problema, se e solo se risulterà (entro una prefissata tolleranza):

$$\beta_1 = \arctan (M\eta_{R1} / M\xi_{R1}) = \beta$$

Ove tale circostanza non sia riscontrata (come ad esempio accade in figura), occorrerà incrementare l'angolo α di una quantità finita $\Delta\alpha$ e ripetere il procedimento di integrazione delle tensioni^[74] ottenendo un nuovo valore β_2 . Così di seguito fino ad individuare un settore angolare definito da due valori consecutivi di α in corrispondenza dei quali i valori calcolati per β_i , β_{i+1} rispettino la condizione:

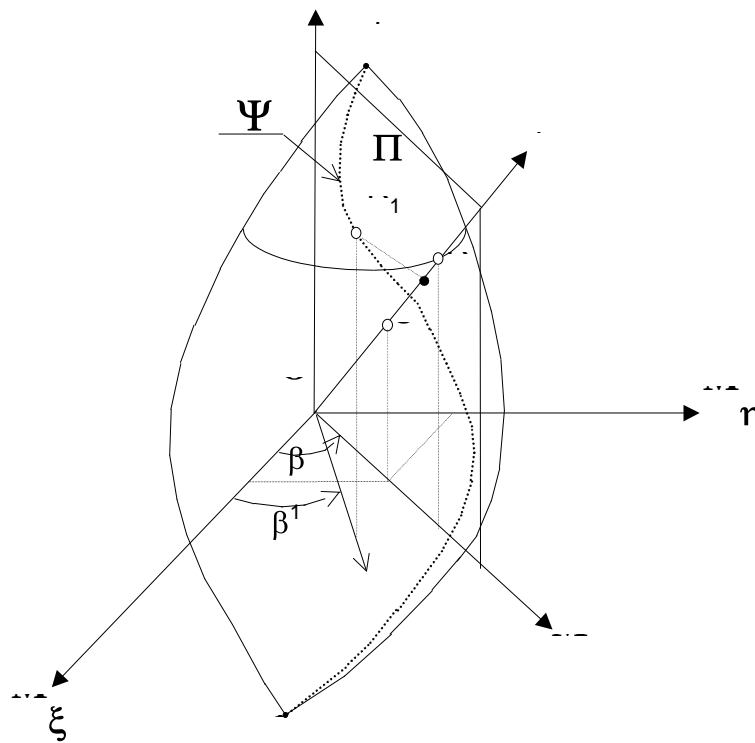
$$\beta_i \leq \beta \leq \beta_{i+1} \quad \text{con} \quad \beta_i \leq \beta_{i+1}$$

A questo punto la convergenza verso il voluto valore di β è assicurata, entro una prefissata tolleranza angolare, mediante il solito procedimento della bisezione.

4.18 Misura della sicurezza a sforzo normale costante

In questo caso la retta r di misura giace nel piano a sforzo normale costante di progetto $N = N_{sd}$. Per assicurarsi che l'origine **O'** di tale retta di misura sia interna al dominio di resistenza, essa viene presa coincidente col punto di intersezione del piano $N = N_{sd}$ con la retta congiungente l'origine **O** con gli assetti principali 1 e 4. Il criterio di convergenza resta

analogo a quello descritto nel paragrafo precedente, con la differenza che il piano Π parallelo all'asse N passa per il punto \mathbf{O}' e che, quindi, a tale origine vanno riferiti gli angoli β . In altre parole, per ogni valore dello sforzo normale di progetto, gli angoli β vengono misurati in un sistema di riferimento costituito da una coppia di assi $M\xi^*, M\eta^*$ con origine nel punto \mathbf{O}' come sopra definito e paralleli agli assi $M\xi, M\eta$ generali in figura. Quindi, ad ogni valore di N corrisponde un diverso piano di misura $M\xi^*, M\eta^*$ sia dell'angolo β che della sicurezza $\overline{\mathbf{O}'\mathbf{R}} / \overline{\mathbf{O}'\mathbf{S}}$.

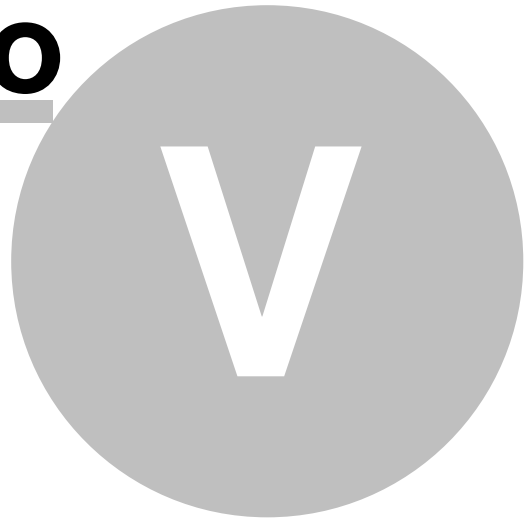


Avviando il procedimento iterativo con un primo valore α_1 di tentativo, si otterrà nel piano $N = N_{sd}$ un punto $\mathbf{R}_1 \{ N_{sd}, M\xi_1, M\eta_1 \}$ appartenente a Ψ , le cui componenti flettenti lette nel sistema di riferimento $M\xi^*, M\eta^*$ formeranno un angolo β_1 . Se tale angolo risulta uguale all'angolo β formato dal piano Π , il punto \mathbf{R}_1 risolve il problema; in caso contrario, si dovrà incrementare α ed iterare il procedimento fino a convergenza, come già illustrato nel paragrafo precedente.

Alla fine delle elaborazioni il programma può rappresentare graficamente i domini di resistenza ultima M_x - M_y a sforzo normale N costante (uno per ogni combinazione di carico e quindi per un assegnato valore di N), sia della sezione rinforzata sia (in sovrapposizione per confronto) della sezione iniziale.

Confinamento e resistenza

Capitolo



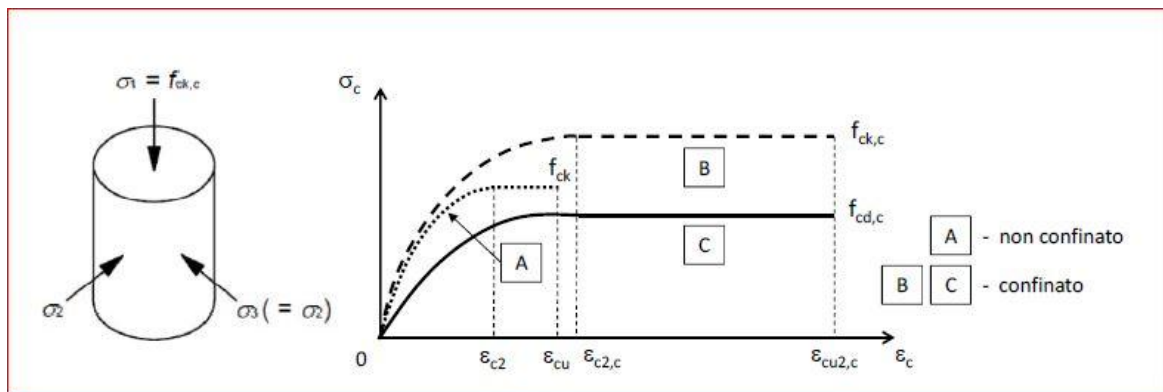
5 Confinamento e resistenza

Premesso che il confinamento delle sezioni di pilastri in c.a. è molto importante ai fini dell'incremento di duttilità in zona sismica (vedi prossimo capitolo), si tratterà qui il solo aspetto legato all'incremento di resistenza a flessione e presso flessione.

Il confinamento può essere realizzato mediante:

1. - staffe di contenimento (e legature) interne alla sezione iniziale pre-rinforzo.
2. - staffe di contenimento esterne alla sezione esistente e contenute in una camicia in c.a. gettata successivamente (confinamento con incamiciatura in c.a.).
3. - confinamento con FRP.
4. - confinamento mediante incamiciatura con angolari e bande (o nastri) in acciaio.

Le NTC 2018 prevedono per i pilastri di nuova costruzione la possibilità di un incremento di resistenza grazie al confinamento di staffe di contenimento (§ 4.1.2.1.2.1 NTC). Il diagramma tensioni-deformazioni (sempre a parabola-rettangolo) del calcestruzzo del nucleo di calcestruzzo confinato risulta maggiorato sia in termini di deformazioni che di tensioni rispetto a quello del calcestruzzo non confinato. L'incremento del diagramma si basa sulla valutazione della pressione laterale di confinamento fornita dalle staffe.



Il programma prevede lo stesso modello di confinamento nel solo caso di sezione esistente priva di rinforzi ma con staffe effettivamente confinanti a giudizio del professionista.

Il presente programma considera inoltre l'incremento di resistenza ottenibile dopo la realizzazione di un apposito rinforzo di confinamento (avvolgimento con FRP, cerchiatura, incamiciamento) senza però considerare un eventuale confinamento delle staffe esistenti.

E' importante rilevare che tutti i rinforzi citati (ad eccezione del n.1) consentono un miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione o per aderenza della vecchie barre; indicazioni (non quantitative) al riguardo sono indicate nel §C8A.7 delle Istruzioni NTC.

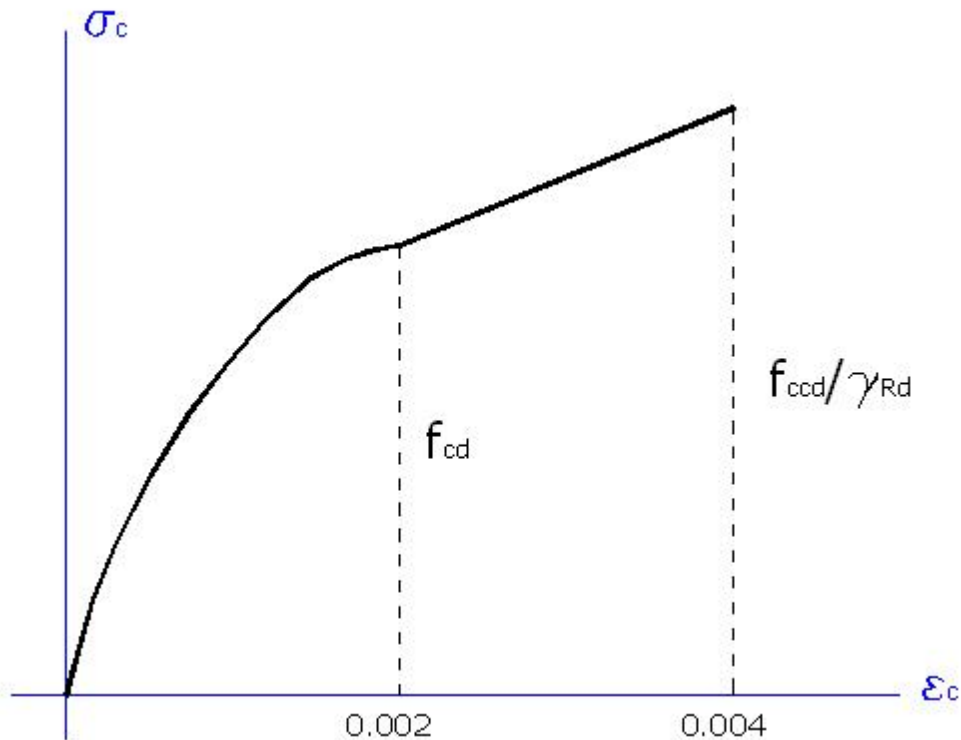
5.1 Confinamento con FRP

L'argomento è trattato estesamente nel § 4.5 delle CNR-DT 200 2013^[240].

In sintesi l'avvolgimento del pilastro con sole fibre ortogonali all'asse del pilastro determina un aumento di resistenza. L'aumento di resistenza conseguibile è interessante solo nel caso di pilastri soggetti a compressione centrata o con piccola eccentricità in condizioni degradate o insufficienti a sopportare incrementi di solo sforzo normale: trattasi in questo caso di un intervento di riparazione locale (§ C8.4.1

Circolare NTC). Nel caso di pressoflessione con eccentricità sensibile l'incremento di resistenza è trascurabile (ma verrà comunque calcolata dal programma) mentre diventa importante l'incremento di duttilità in curvatura che verrà trattata nel capitolo successivo (confinamento e duttilità¹⁰⁷).

In programma viene assunto il seguente diagramma tensioni deformazioni del calcestruzzo confinato con FRP simile ma semplificato ed a vantaggio di sicurezza rispetto a quello indicato nella figura 4-11 § 4.5.1 CNR2013, di seguito completata con i parametri assunti nel programma:



Fino al valore della deformazione assiale di 0.002 la tensione nel calcestruzzo confinato viene considerata uguale a quella del calcestruzzo non confinato, pur essendo in realtà leggermente superiore. Per deformazioni superiori a 0.002 e fino a 0.004 si modella il legame come lineare fino al raggiungimento della massima resistenza da confinamento di calcolo pari a f_{ccd} come valutata nel seguito ridotta a mezzo del coeff. parziale $\gamma_{Rd} = 1.10$ di cui alla formula (4.30) delle CNR2013. Si ricorda di evitare di superare il numero di 5 strati sovrapposti di tessuto.

Incremento di resistenza a compressione centrata (o con piccola eccentricità)
 § 4.5.2 CNR2013

In questo caso si tratta di valutare l'incremento di resistenza allo sforzo assiale in presenza di avvolgimento del tessuto FRP intorno al pilastro con le fibre disposte ortogonalmente all'asse del pilastro stesso. Se in input si assegna un momento flettente piccolo in confronto allo sforzo normale di progetto (cioè una piccola eccentricità) il programma va eseguito settando nei dati generali¹³¹ il percorso di sollecitazione ad eccentricità costante in modo da determinare così il massimo sforzo normale $N_{Rcc,d}$ sviluppato grazie alla presenza del confinamento (ed in assenza di momento flettente).

La massima resistenza del calcestruzzo f_{ccd} viene valutata con la (4.31) nel § 4.5.2 CNR2013:

$$f_{ccd} = f_{cd} (1 + 2.6(f_{l,eff}/f_{cd})^{2/3})$$

in cui:

$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$ = pressione di confinamento efficace: deve essere $f_{l,eff} / f_{cd} > 0.05$ altrimenti il confinamento non viene considerato efficace

$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k$ = coeff. efficienza (≤ 1) valutato con le formule del § 4.5.2.1 CNR2013

$f_l = 0.5 \rho_f \cdot E_f \cdot f_{d,rid}$ = pressione di confinamento valutata con le formule dei § 4.5.2.1 CNR2013

$f_{d,rid} = \min \{ a \cdot f_k / f ; 0.004 \}$ (4.37)
CNR2013

L'applicazione diretta della (4.30) CNR2013:

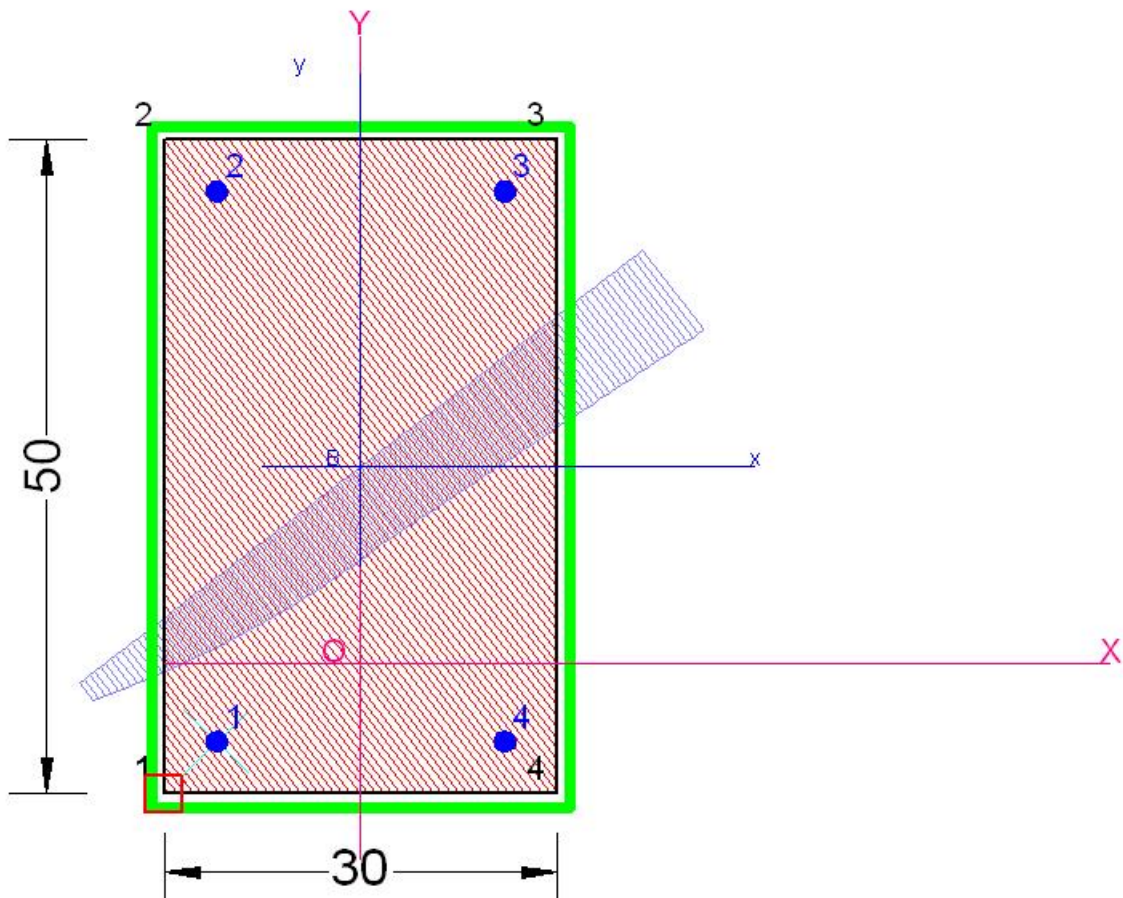
$$N_{Rcc,d} = 1 / R_d \cdot A_c f_{ccd} + A_s f_{yd}$$

consente di cogliere subito il valore massimo dello sforzo normale resistente dopo il confinamento. Lanciando il programma è comunque possibile dedurre dai risultati del calcolo il valore f_{ccd} ed applicare direttamente la (4.30).

Incremento di resistenza a compressione eccentrica (con forte eccentricità)

In questo caso nel programma viene utilizzato lo stesso diagramma tensioni deformazioni sopra illustrato ma il calcolo, che in questo caso è necessariamente rivolto alla resistenza a flessione (nei dati generali $\sqrt{13}$ va, di conseguenza, selezionato il percorso di sollecitazione a sforzo normale costante), conduce ad incrementi del momento flettente ultimo di poco superiore a quello ottenuto senza il confinamento con FRP.

Di seguito si riporta il grafico di output di un pilastro rettangolare in presso flessione deviata con piccola eccentricità con relativo diagramma qualitativo (in azzurro) delle tensioni ultime.



Di seguito si riporta la stampa dei dati di input e dei risultati numerici per la sezione di cui trattasi. In particolare per il tessuto FRP vengono riportati tutti i principali parametri di resistenza calcolati attraverso le formule delle CNR2013.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Confinamento_RD.sezfrp
 (Percorso File: C:\Users\lritri\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Confinamento_RD.sezfrp)

Descrizione Sezione:
 Tipologia sezione iniziale: Sezione rettangolare di pilastro
 Lato X sezione [cm]: 30.0
 Lato Y sezione [cm]: 50.0
 Normativa di riferimento: CNR DT-200 2013
 Percorso sollecitazione: A rapporto M/N costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
 Riferimento alla duttilità: Deformazione materiali fino a rottura
 Posizione sezione nell'asta: In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck16
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0 N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35
	Resistenza media a compressione fcm:	21.00 N/mm ²

	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	16.00	N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	10.37	N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0	N/mm ²
	Resis. media a trazione fctm:	1.90	N/mm ²
	Resist. confinata max (al max parabola):	10.37	N/mm ²
	Resist. confinata alla deform. ultima:	23.47	N/mm ²
	Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0020	
	Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0040	
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.20	
	Resistenza media a snervamento = fym :	430.0	N/mm ²
	Resist. media a rottura = ftm :	494.5	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto fy d=fym/(FC*1.15):	311.6	N/mm ²
	Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :	1.15	
	Deform. unitaria ultima di progetto Epu:	0.036	
	Modulo Elastico Es	200000.0	N/mm ²
	Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito	
FRP -	In Tessuto o lamine per CONFINAMENTO:	CFRP_1	
	Descrizione composito impiegato:	Laminato pultruso	
	Fattore convers. EtaA per sistema Preformato (§3.5.1 CNR2013)	0.950	
	Modulo elastico Ef [(2.4)-(2.10)CNR2013]:	165000.0	N/mm ²
	Resistenza caratteristica a rottura ftk sistema FRP:	2800.0	N/mm ²
	Deform. caratteristica a rottura e_fk= ftk/Ef	0.0170	
	Deform. a rottura per confinamento [(4.34)CNR2013]	0.0040	
	Deform. a rottura per calcolo curvature [(4.42)CNR2013]	0.0102	
	Spessore tf singolo strato tessuto/lamina	1.20	mm
	Numero strati tessuto/lamina	3	
	Coeff. efficienza orizzontale kh [(4.40) CNR2013]	0.355	
	Coeff. efficienza verticale kv [(4.35) CNR2013]	1.000	
	Pressione laterale efficace di confinamento f1,eff [(4.33)CNR2013]:	4.5	N/mm ²
	Efficacia confinamento = f1,eff / fcd [§4.5.2(7)CNR2013]:	43.4	%
	Resistenza calcestruzzo confinato fccd [(4.31)CNR2013]:	23.5	N/mm ²
	Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza :	0.004	
	Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità (§4.5.3 CNR2013):	10.4	N/mm ²
	Deform. ultima cls. confinato x calcolo di duttilità [(4.41)CNR2013]:	0.0193	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: fck16

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-25.0
2	-15.0	25.0
3	15.0	25.0
4	15.0	-25.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-11.0	-21.0	16
2	-11.0	21.0	16
3	11.0	21.0	16
4	11.0	-21.0	16

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico	200.00
Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo	0.00
Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo	0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo. Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	500.00	10.00	5.00	0.00	0.00
2	500.00	-10.00	-5.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	500.00	10.00	5.00	2597.35 (1607.04)	51.81 (32.17)	26.23 (16.00)
5.195							
2	S	500.00	-10.00	-5.00	2597.35 (1607.04)	-51.81 (-32.17)	-26.23 (-16.00)
5.195							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

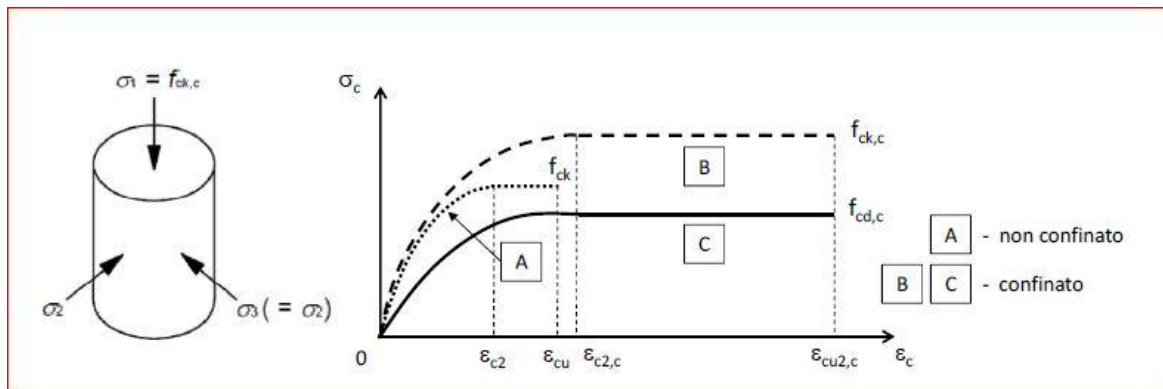
N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.00400	15.0	25.0	0.00366	11.0	21.0	0.00176	-11.0	
2	0.00400	-15.0	-25.0	0.00366	-11.0	-21.0	0.00176	11.0	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

N°Comb	a	b	c
1	0.000036740	0.000026023	0.002798340
2	-0.000036740	-0.000026023	0.002798340

5.2 Confinamento con camicia in ca



L'incamicatura in c.a. è prevista in programma per tutte le sezioni rettangolari, per quelle circolari e per le sezioni generiche poligonali costituite da un solo dominio di calcestruzzo.

Il confinamento è generato dalle staffe ben chiuse (confinanti) inserite nella camicia in c.a. che vengono attivate dalla dilatazione trasversale del pilastro esistente solo e soltanto per un incremento dei carichi.

La legge tensioni deformazioni (in rosso nel grafico) di un calcestruzzo confinato (in questo caso costituito dal pilastro esistente), è fornita dalle seguenti relazioni tratte dal § 4.1.2.1.1 NTC:

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1.000 + 5.0 \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{per } \sigma_2 \leq 0.05 f_{ck} \quad (4.1.8)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1.000 + 2.5 \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{per } \sigma_2 > 0.05 f_{ck} \quad (4.1.9)$$

$$c_{2,c} = c_2 (f_{ck,c} / f_{ck})^2 \quad (4.1.10)$$

$$c_{u2,c} = c_u + 0.2 \sigma_2 / f_{ck} \quad (4.1.11)$$

dove σ_2 è la tensione di compressione laterale efficace (tensione di confinamento) allo SLU, e le deformazioni c_2 $c_{u,c}$ sono illustrate nel grafico.

Il valore di picco della tensione di progetto confinata (vedi figura) vale:

$$f_{cd,c} = c_c f_{ck,c} / c = 0.85 f_{ck,c} / 1.5 \quad (4.1.12)$$

Il calcolo della tensione laterale di confinamento viene effettuato con la seguente relazione:

$$\sigma_2 = \alpha_n \alpha_s \sigma_l$$

in cui $\alpha_n \alpha_s \sigma_l$ sono fornite dalle espressioni (4.1.12) NTC sia per sezioni rettangolari che circolari.

Nel caso qui considerato di incamiciatura il nucleo confinato viene considerato (in sicurezza) costituito dal solo calcestruzzo della vecchia sezione del pilastro+ il calcestruzzo della camicia fino all'asse delle nuove staffe della camicia). A favore di sicurezza le caratteristiche di resistenza e confinamento del piccolo spessore confinato del nuovo calcestruzzo vengono assimilate a quelle del vecchio calcestruzzo. Il programma permette il calcolo anche di sezioni poligonali convesse generiche.

Per le sezione incamiciate in c.a. il programma prevede due distinte modalità di calcolo (opzioni presenti nella finestra della scheda Rinforzi):

BARRE LONGITUDINALI NON PASSANTI PER I NODI

In questo primo caso le nuove barre longitudinali presenti nella camicia non vengono collegate (tramite foratura dei solai ed eventuali appositi manicotti filettati) alle barre dei pilastri (pure essi eventualmente rinforzati) superiore ed inferiore, ma si fermano al pavimento ed al soffitto del piano in cui si effettua il rinforzo (anche la camicia viene gettata fino a circa 1 cm dal soffitto).

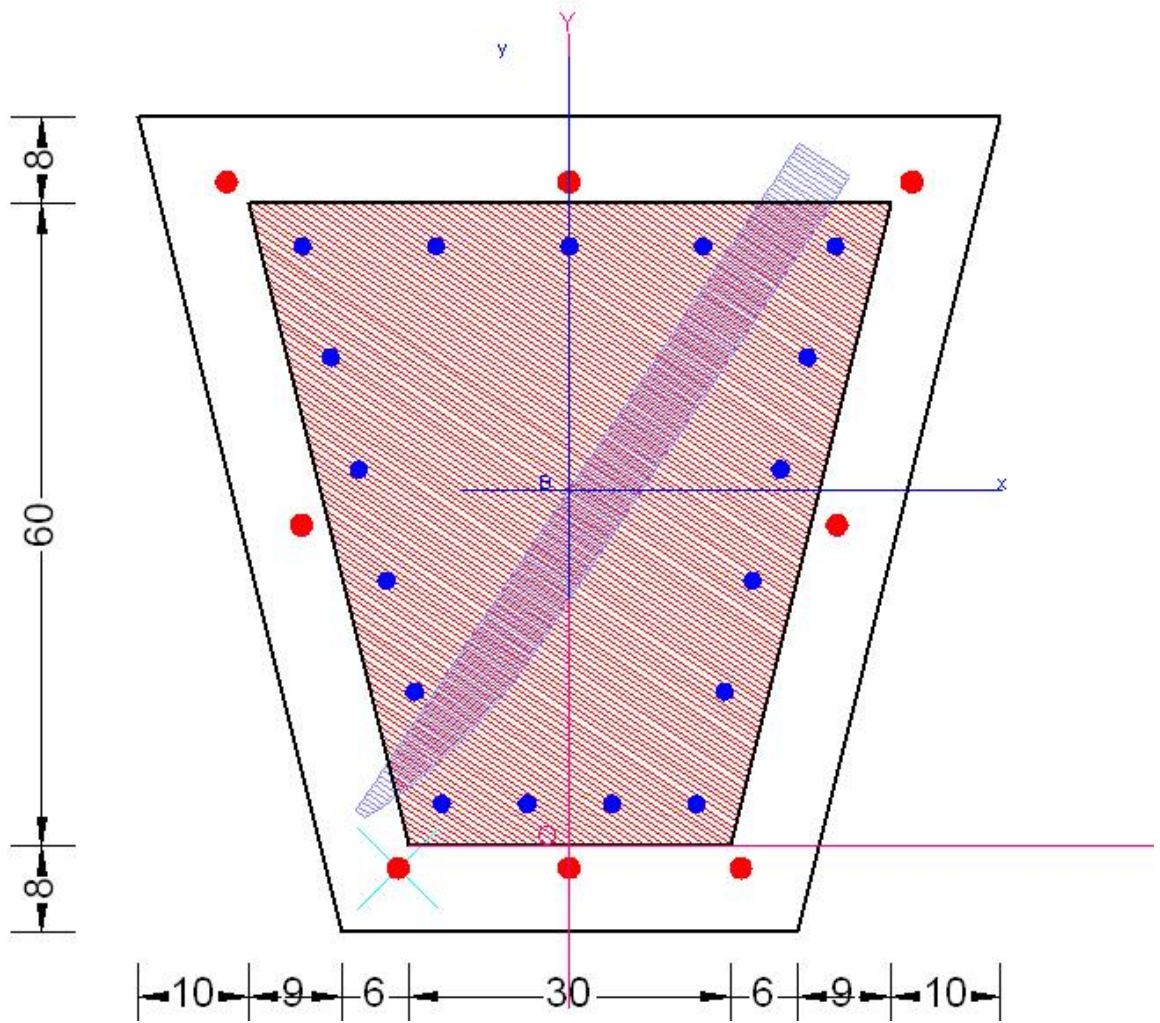
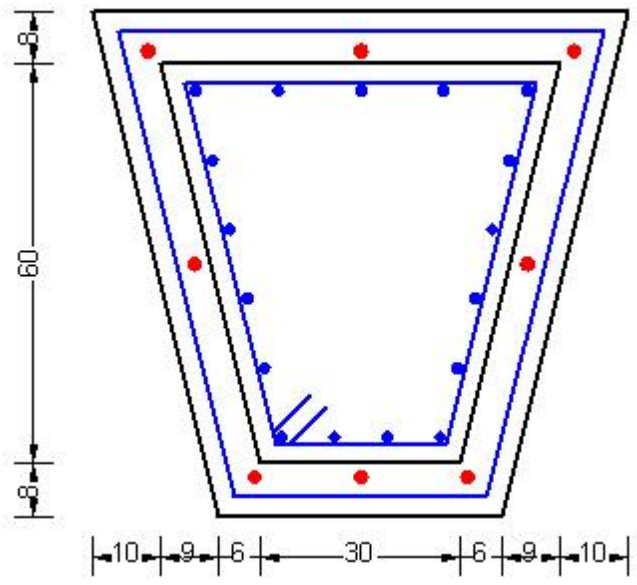
In questo caso nel calcolo non vengono considerati nè il calcestruzzo della camicia nè le nuove barre longitudinali inserite nella camicia, ma solo le nuove staffe di confinamento che contemporaneamente incrementano la resistenza di calcolo del vecchio calcestruzzo, la resistenza a taglio e la duttilità del pilastro (importante negli adeguamenti e miglioramenti sismici). In questo caso il miglioramento della resistenza a presso flessione del pilastro è molto limitata (non viene alterata la rigidità del pilastro nell'ambito dell'intera struttura) ed è dovuta unicamente al miglioramento della tensione di progetto ottenuta grazie al nuovo valore di resistenza confinata $f_{ck,c}$ del vecchio

calcestruzzo il cui nuovo valore di progetto (impiegato nel calcolo) diventa $f_{cd} = 0.85 f_{ck,c} / 1.5$ (4.1.12)NTC

Nel programma si sono utilizzate le formule (4.1.8) e seguenti del § 4.1.2.1.2.1 in cui il valore f_{ck} può essere determinato dai valori f_{cm} delle prove distruttive da cui dedurre f_{ck} mediante le formule fornite dalla EN 13791 (in alternativa potrebbe utilizzarsi il valore di f_{cm}/FC). Trattandosi di struttura esistente la determinazione di f_{ck} non è agevole nè prevista dal capitolo 8 NTC.

Questa tecnica ha due impieghi principali:

1) Intervento locale per rinforzo di pilastri soggetti prevalentemente ad azione assiale (con piccola eccentricità) con carenze progettuali o di cui si intende ottenere un limitato incremento della resistenza assiale (ad es. per degrado o per incremento dei carichi) per il solo effetto del confinamento (miglioramento della resistenza a compressione del vecchio calcestruzzo ed aumento della resistenza a taglio): cioè senza conteggiare la camicia come resistente allo sforzo assiale del pilastro. In questo caso per valutare l'incremento di resistenza a sforzo normale è necessario selezionare, nella finestra dei dati generali¹³⁾, il percorso di sollecitazione a sforzo normale costante. Il § 4.1.2.3.4.2 NTC consente la verifica di pilastri soggetti prevalentemente a sforzo normale purché allo sforzo normale massimo N_E sia associato un momento flettente minimo pari a $M = e N_E$ con l'eccentricità $e = 2$ cm o pari a $e = l_0 / 200$ se maggiore (l_0 = lunghezza di libera inflessione del pilastro in cm). La sottoriportata sezione trapezia incamiciata di un pilastro è stata calcolata in presso flessione deviata con riferimento al solo calcestruzzo della sezione iniziale ma con resistenza maggiorata dal confinamento. La zona compressa (tratteggiata in rosso) è infatti quella della sola sezione iniziale e ad essa si riferisce il sovrapposto diagramma blu delle tensioni. Nel calcolo della resistenza flessionale viene considerata la sola sezione esistente e le relative barre longitudinali. Notevole, invece, l'incremento della resistenza a taglio: nella verifica a taglio viene considerata resistente l'intera sezione incamiciata senza considerare (a favore di sicurezza) le staffe esistenti.



2) Intervento di miglioramento o adeguamento sismico nel caso in cui non occorra incremento di resistenza a pressoflessione. In questo caso nella finestra dei dati generali^[13] va selezionato il percorso di sollecitazione a sforzo normale costante. L'incremento di resistenza (e di rigidezza) è molto limitato in quanto a presso flessione si fa riferimento alla sola sezione iniziale e relative barre longitudinali. Molto consistente è invece l'incremento ottenibile in resistenza a taglio (non considerando resistenti le vecchie staffe) e in duttilità di curvatura in dipendenza dalla quantità di staffe aggiuntive assegnate nella scheda rinforzi (sono previste solo staffe perimetrali a due bracci i cui dati da fornire sono diametro e passo). In particolare quest'ultima è fondamentale nella verifica della capacità di rotazione rispetto alle rotazioni alla corda (pushover).

Il calcolo del momento resistente viene, in ogni caso, condotto considerando resistente la sola sezione iniziale attribuendo al calcestruzzo il nuovo diagramma tensioni-deformazioni confinato. Il calcolo della resistenza a taglio viene descritta nell'apposito paragrafo dedicato^[126].

BARRE LONGITUDINALI PASSANTI PER I NODI

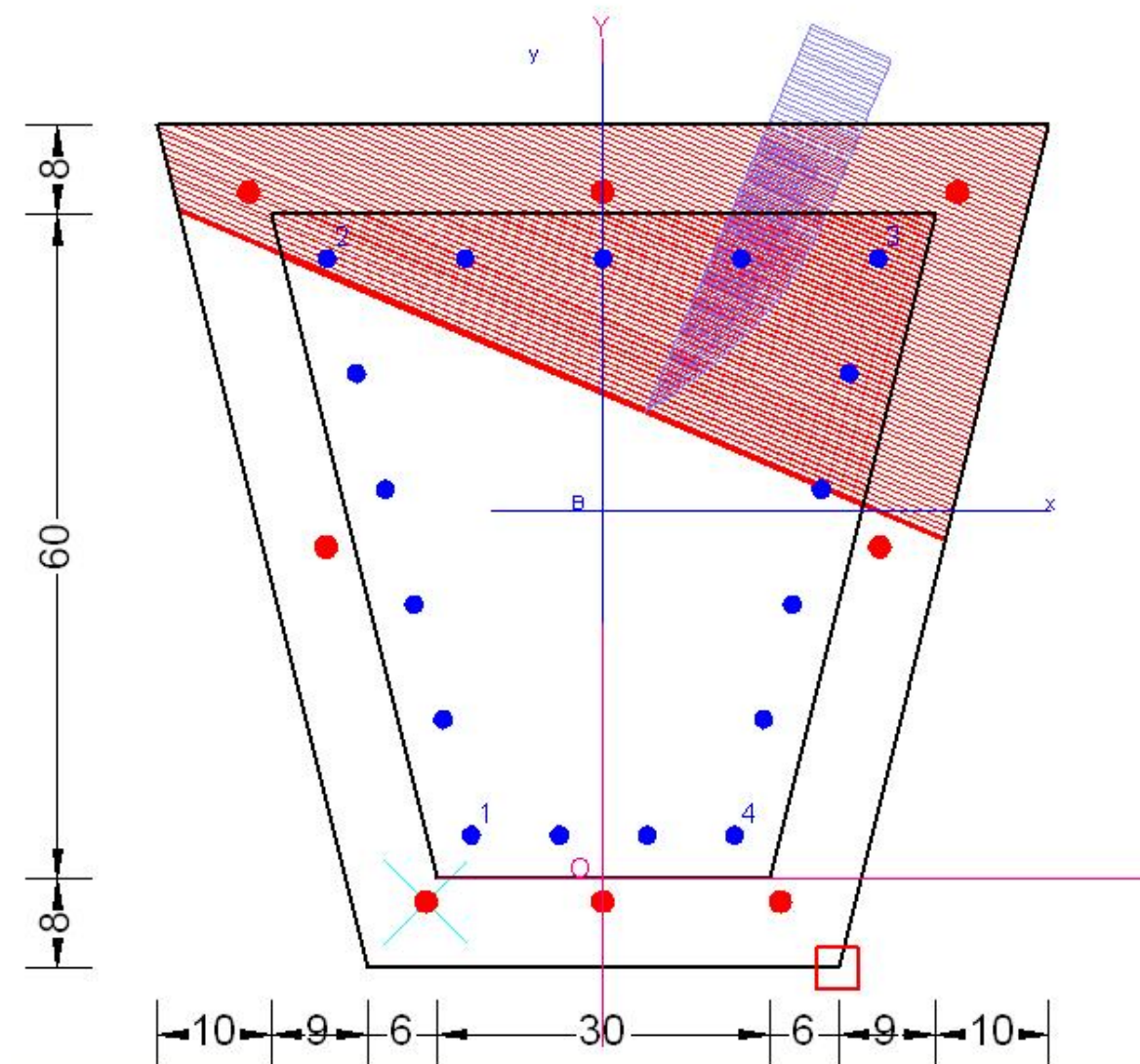
Questo tipo di intervento è utilizzato soprattutto per l'adeguamento o il miglioramento sismico di cui al capitolo 8 delle NTC.

Le nuove barre longitudinali presenti nella camicia vengono collegate (tramite foratura dei solai ed appositi manicotti filettati) alle barre dei pilastri (pure essi rinforzati) superiore ed inferiore. Si ha così un notevole aumento della resistenza del pilastro sia in pressoflessione che per taglio e duttilità.

Il calcolo di resistenza utilizza il diagramma tensioni deformazioni confinato (di cui sopra) per il calcestruzzo della sezione iniziale, mentre per il calcestruzzo della camicia viene impiegato il diagramma non confinato del nuovo calcestruzzo. Vengono considerate, con i relativi diagrammi bilateri di resistenza, sia le vecchie che le nuove armature longitudinali. Non viene considerata (a favore di sicurezza) la resistenza a taglio delle staffe esistenti. La circolare 2019 alle NTC prescrive, inoltre, che lo sforzo normale precedente il rinforzo e prodotta dai soli carichi permanenti, sia sopportato dalla sola sezione esistente (cioè solo gli ulteriori sforzi normali saranno ripartiti tra vecchia e nuova sezione).

Le resistenze a flessione e taglio ottenute dal calcolo sono ridotte (automaticamente dal programma) del 10% in conformità alle relazioni (C8A.7.1), (C8A.7.2) della Circolare NTC.

Nel sottostante grafico di output si può notare come i diagrammi delle tensioni allo SLU siano differenti per i due calcestruzzi.



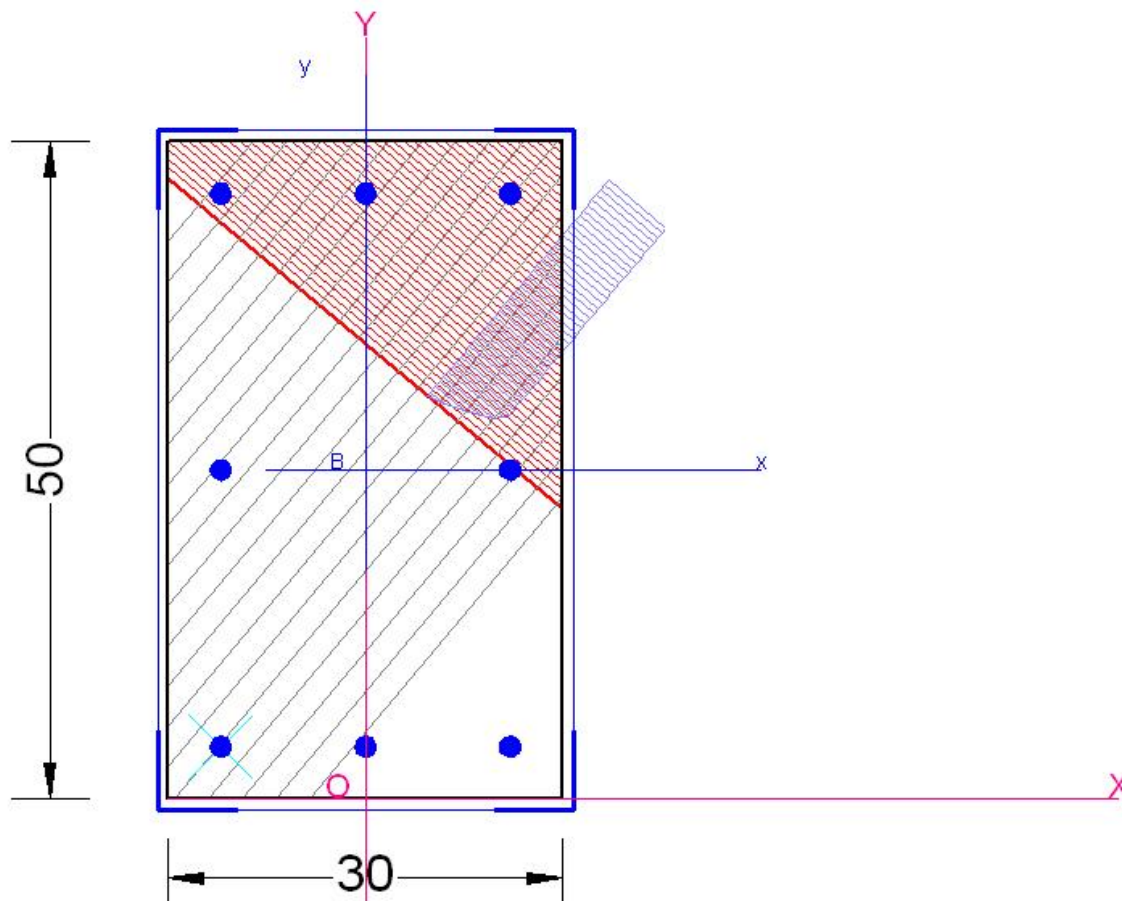
5.3 Cerchiatura con angolari e bande/nastri

La cerchiatura con angolari e bande o nastri ad alta resistenza è prevista per i soli pilastri rettangolari. Questo rinforzo viene attuato per singolo pilastro di piano senza cioè prolungare o collegare gli angolari oltre i solai superiore o inferiore di piano. L'obiettivo da raggiungere è quello di incrementare la resistenza a taglio, aumentare la capacità deformativa (ai fini delle verifiche di duttilità) grazie al confinamento ed infine migliorare l'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione delle vecchie barre. Nel calcolo non si tiene conto dell'incremento di resistenza a presso flessione per effetto del confinamento in quanto poco rilevante e, pertanto, il diagramma tensioni-deformazioni utilizzato per il calcolo di resistenza è quello non confinato del calcestruzzo vecchio (valore medio delle prove diviso il fattore di confidenza ed il fattore parziale 1.5 del c/s). Anche gli angolari, per quanto detto, non vengono né assegnati né presi in conto nel calcolo.

L'input è costituito dalla scelta del tipo di acciaio (da definire o già definiti nell'archivio materiali⁴⁶) da utilizzare per le bande o i nastri in acciaio, dal passo e dalle dimensioni

trasversali della singola banda (o del nastro), dal raggio di curvatura dell'arrotondamento degli spigoli (minimo 2 cm). Nel caso di sezione rettangolare predefinita è pure previsto l'input dell'altezza utile d del nastro in quanto nel caso di travi non in spessore di solaio è possibile impegnare i nastri anche per la quota dell'altezza della trave non compresa nello spessore del solaio (mediante l'esecuzione di fori entro cui far passare i nastri).

Di seguito si riporta l'output grafico di un pilastro cerchiato con bande soggetto a pressoflessione deviata e taglio.



Confinamento e duttilità

Capitolo



VI

6 Confinamento e duttilità

I calcoli di duttilità vengono effettuati dal programma mediante la costruzione del diagramma momenti-curvature a sforzo normale costante. Detti calcoli possono essere svolti nei seguenti due ambiti applicativi.

1) Nel caso il calcolo strutturale si effettui con un'analisi lineare modale con fattore di comportamento $q > 1,5$, la domanda di duttilità in curvatura può effettuarsi controllando che la capacità in duttilità (calcolata attraverso un diagramma momenti-curvature) porti ad un fattore di duttilità in curvatura maggiore del suo valore di domanda μ_φ richiesto dalle NTC:

$$\mu_\varphi \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2(2q_0 - 1) \text{ per } T_1 \geq T_C ; \\ 1,2[1+2(q_0-1)T_C/T_1] \text{ per } \\ T_1 < T_C \end{array} \right\} \quad (7.4.3) \text{ NTC 2018}$$

dove T_1 è il periodo proprio fondamentale della struttura, T_C è il valore impiegato nello spettro di progetto, e q_0 è il valore base del fattore di struttura.

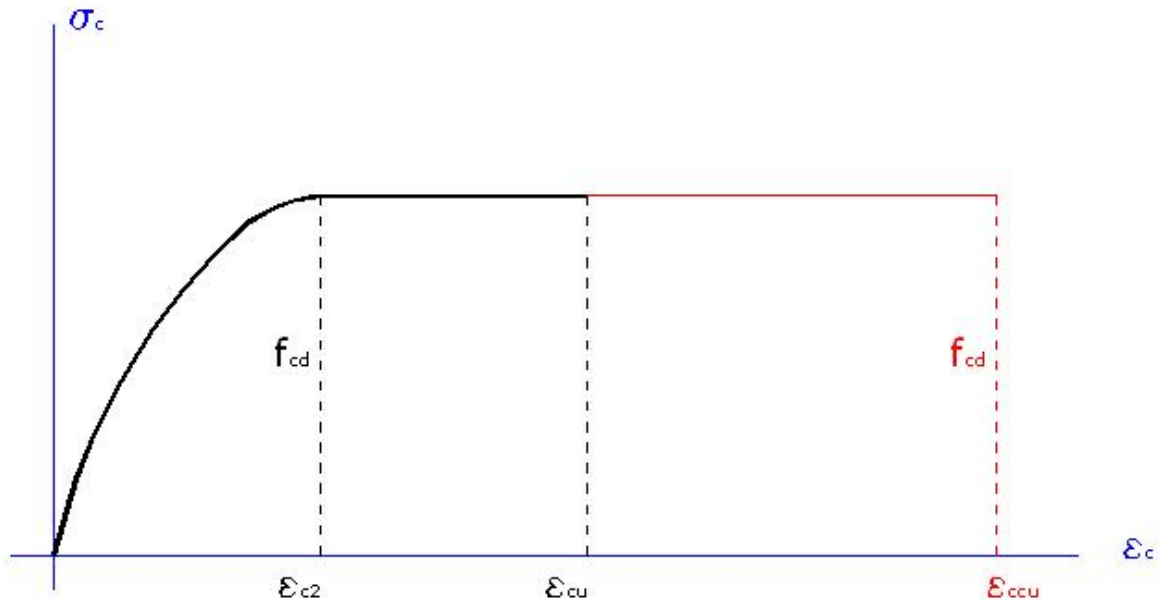
La duttilità di curvatura viene calcolata come il rapporto tra la curvatura cui corrisponde il raggiungimento delle deformazioni ultime del calcestruzzo ϵ_{cu} o dell'acciaio ϵ_{uk} (o una riduzione del 15% della massima resistenza a flessione) e la curvatura di prima plasticizzazione.

Questo tipo di verifica può essere utile nel calcolo di un edificio esistente (giustificazione della duttilità disponibile a livello locale) mediante analisi statica o modale con fattore di struttura $q > 1,5$ (vedi C8.7.2.4 Istruzioni NTC). Ciò in quanto negli edifici esistenti non è possibile riscontrare le prescrizioni minime per quantitativo e disposizione richieste dalle NTC per le nuove costruzioni (rispettando le quali è possibile evitare il calcolo numerico effettivo della duttilità in curvatura). Nessuna verifica di duttilità è richiesta nel caso si adotti un coefficiente di comportamento $q \leq 1,5$.

2) Nel caso in cui si proceda ad un'analisi non lineare (pushover). E qui diventa importante valutare le rigidità e le rotazioni alla corda allo snervamento [(8.7.2.1) Istruzioni NTC2008] ed ultime [(C8A.6.5) Istruzioni NTC] a partire dai valori delle curvature allo snervamento ed ultime valutate, nel presente programma, nell'ambito di un esauriente diagramma momenti-curvature.

A questo riguardo si fa notare che nelle verifiche di duttilità del calcestruzzo esistente non confinato viene impiegato il valore medio f_{cm} della resistenza come assegnata nell'apposita colonna dell'archivio materiali^[46]. Anche per le barre in acciaio viene utilizzato la resistenza media dedotta dal valore f_m assegnato nella competente griglia dell'archivio materiali. Più precisamente per il calcolo strutturale pushover (fase di analisi) occorre far riferimento ai valori medi di resistenza dei materiali esistenti, mentre per le verifiche di duttilità finali delle stesse sezioni interessate è necessario dividere detti valori medi per i competenti fattori di confidenza. Ciò comporta un doppio calcolo del diagramma momenti-curvature per ottenere le curvature caratteristiche (ed i rispettivi momenti) da assegnare alle due distinte fasi del calcolo pushover.

6.1 Duttilità con FRP



Mediante l'avvolgimento trasversale dei pilastri con FRP è possibile incrementarne la duttilità flessionale nelle zone sismicamente critiche di estremità.

Per il calcolo dei parametri di duttilità (attraverso la costruzione del diagramma momenti curvatures) si adotta la legge tensioni deformazioni in figura suggerita nel §4.5.3 CNR2013 e basata sulla solita legge parabola-rettangolo di resistenza f_{cd} il cui tratto costante si estenda, però, fino ad un valore della deformazione ultima di progetto ϵ_{ccu} fornito da:

$$\epsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \sqrt{f_{l,eff}/f_{cd}} \quad (4.41) \text{CNR2013}$$

in cui:

$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$ = pressione di confinamento efficace: deve essere $f_{l,eff} / f_{cd} > 0.05$ altrimenti il confinamento non viene considerato efficace (calcolo interrotto)

$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k$ = coeff. efficienza (≤ 1) valutato con le formule del § 4.5.2.1 CNR2013 riferite, però, alle sole sezioni circolari e rettangolari

$f_l = 0.5 \rho_f \cdot E_f \cdot f_{d,rid}$ = pressione di confinamento valutata con le formule dei § 4.5.2.1-4.5.2.1.1-4.5.2.1.2 CNR2013

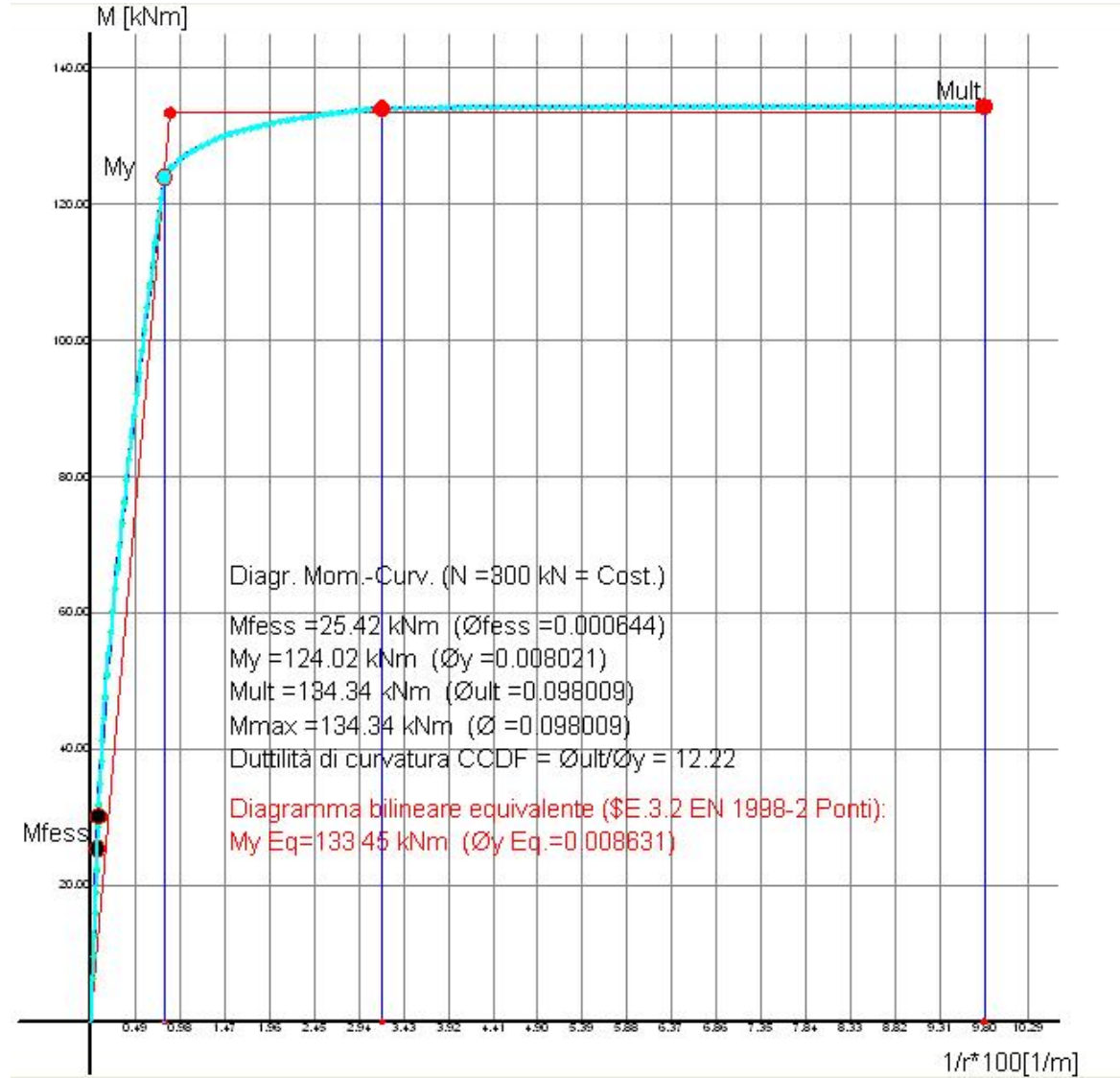
$$f_{d,rid} = a \cdot f_{fk} / f \leq 0.6 \epsilon_{fk} \quad (4.42) \text{CNR2013}$$

In assenza di indicazioni normative per il calcolo del coeff. di efficienza delle sezioni di forma generica, il programma non prevede (per tali sezioni) la valutazione del confinamento ai fini dell'incremento di duttilità e resistenza.

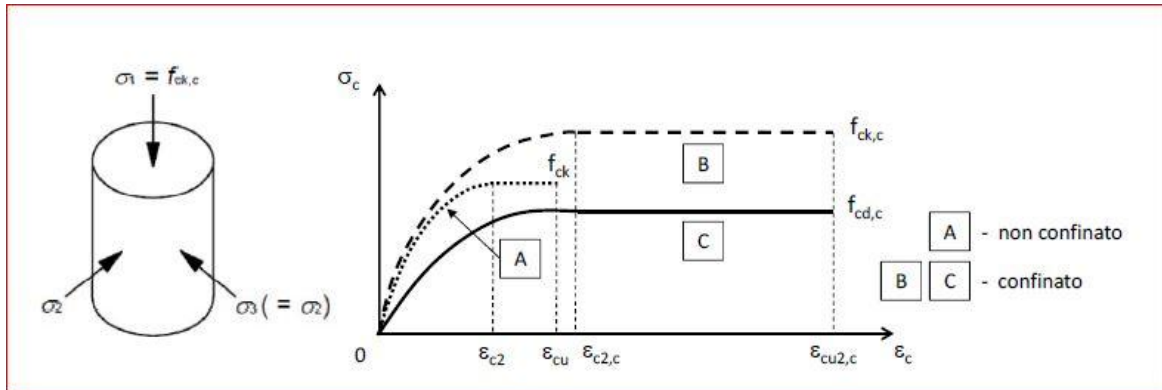
Sulla base del descritto legame tensioni deformazioni del calcestruzzo confinato nonché su quello delle barre in acciaio previste il programma costruisce il diagramma momenti

curvature fino a rottura di uno dei materiali. Questo diagramma può essere utilizzato per la stima del fattore di capacità in duttilità di curvatura da confrontare con la relativa domanda nell'ambito di un calcolo sismico elastico lineare con $q > 1,5$.

Si riporta di seguito un tipico output di una sezione confinata con FRP in cui il diagramma della sezione iniziale, priva di rinforzo FRP, si sovrappone a quello con rinforzo, ma si interrompe molto prima (pallino rosso di rottura) a causa della notevole minore duttilità. Quindi il rinforzo longitudinale a flessione con FRP è (in linea generale) sconsigliato per le sezioni di estremità di travi e pilastri per le quali è auspicabile garantire sempre una buona duttilità flessionale.



6.2 Duttilità con camicia in ca



BARRE LONGITUDINALI NON PASSANTI PER I NODI

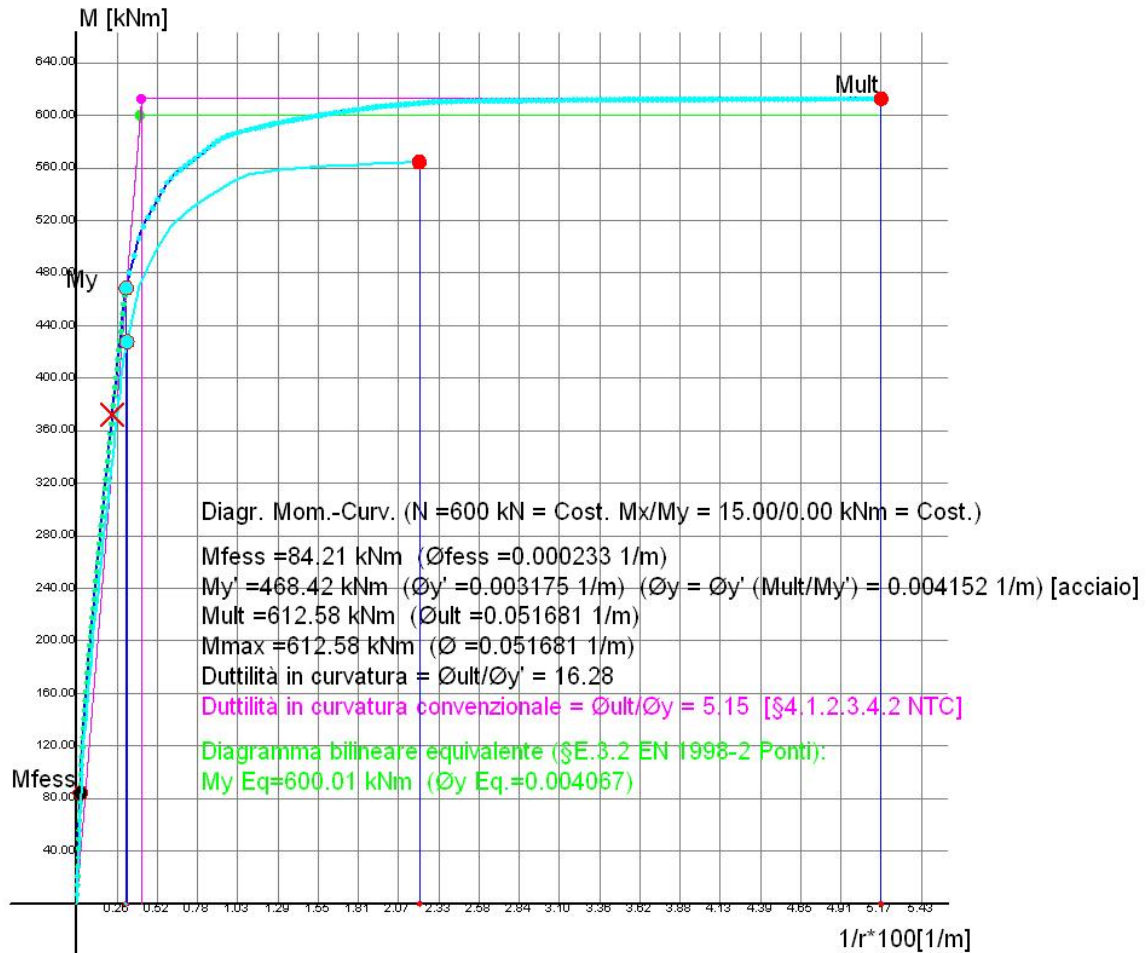
In questo caso nella costruzione del diagramma momenti curvatura viene considerata la sola sezione confinata del pilastro iniziale escludendo del tutto dal calcolo il calcestruzzo della camicia che, grazie alle nuove staffe in essa sempre presenti, assolve alla sola funzione di confinamento.

Il confinamento del calcestruzzo della sezione esistente (che si considera estesa per semplicità fino all'asse perimetrale delle staffe della camicia) viene modellato in base al diagramma di figura che fa riferimento al § 4.1.2.1.2.1 NTC ed è sviluppato dalle sole nuove staffe della camicia la cui efficacia viene calcolata con le (4.1.12.b) e (4.1.12.c) NTC per sezioni rettangolari e con la (4.1.12.d) per sezioni circolari. Questo tipo di calcolo è utilizzato nel caso di calcolo strutturale sismico con $q > 1,5$.

Nel caso, invece, di calcolo non lineare (pushover) al posto dei valori di progetto dei materiali vanno impiegati i valori medi ed il programma utilizza lo stesso modello di confinamento sopra riportato valutando l'incremento di f_{cm} per confinamento sulla base dei valori medi di resistenza delle staffe. Sia la duttilità in curvatura [eq (7.4.3) NTC] che la capacità di rotazione (rotazione ultima θ_u di cui alla (C8A.6.5) Circolare NTC) possono essere ricavate a partire dalle curvature alla prima plasticizzazione ed ultima ottenute dal diagramma momenti-curvature prodotto dal programma.

Il confinamento è tanto più efficace quanto più fitto e consistente è il complesso delle nuove staffe disposte nella camicia.

Un tipico diagramma momenti curvatura per questo tipo di rinforzo è quello di seguito riportato. Si noti la notevole differenza di duttilità rispetto al diagramma tracciato (riportato nello stesso grafico per confronto) della stessa sezione in assenza di camicia confinante.

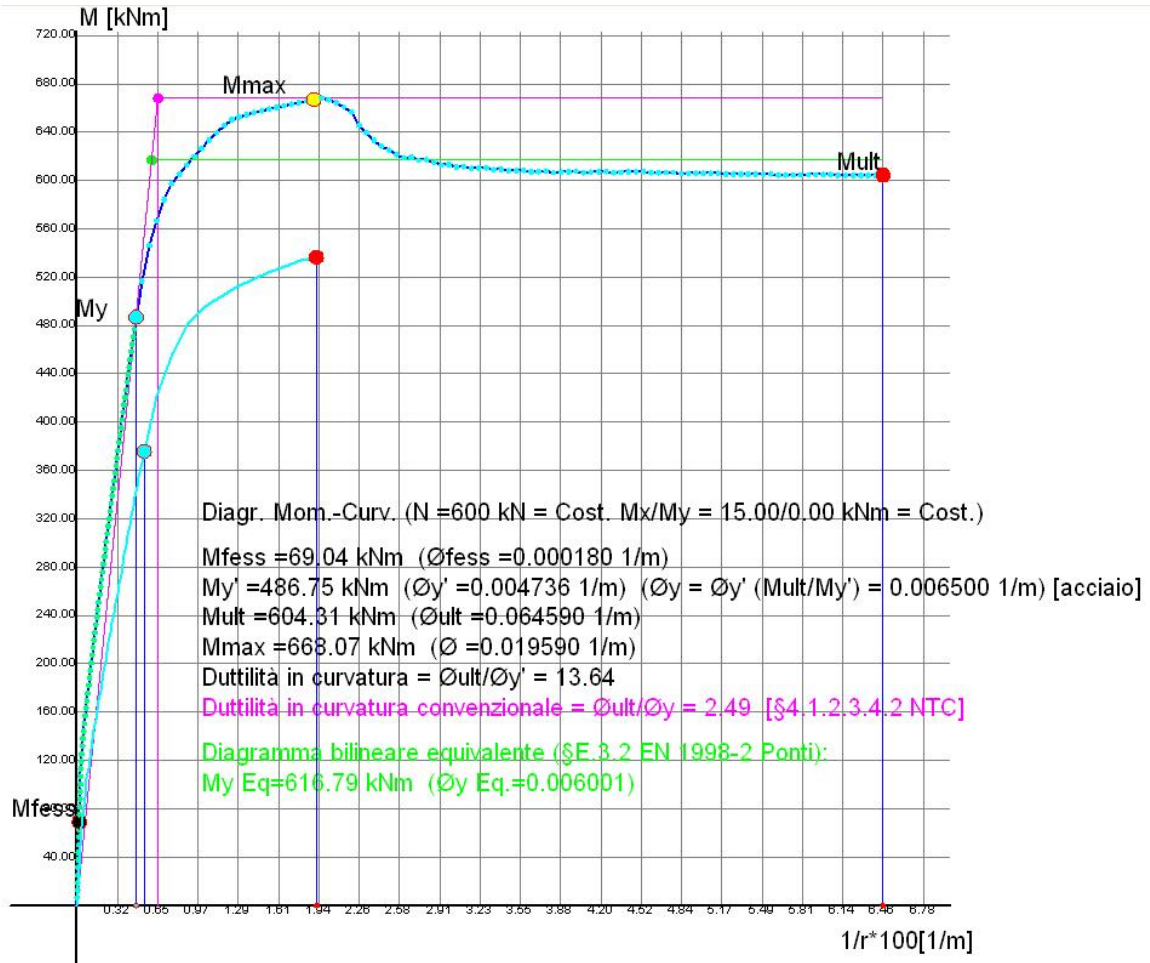


BARRE LONGITUDINALI PASSANTI PER I NODI

In questo caso viene considerato resistente anche il calcestruzzo, considerato interamente non confinato, della camicia ed anche le nuove barre longitudinali e trasversali in essa disposte. Per il calcestruzzo confinato della vecchia sezione viene sempre impiegato il legame costitutivo parabola-rettangolo sopra illustrato. Per il nuovo calcestruzzo della camicia viene invece impiegato il classico legame parabola rettangolo utilizzata per calcestruzzi nuovi.

Anche in questo caso il calcolo può essere svolto sulla base dei valori di progetto dei materiali o su quelli medi.

Un tipico andamento del diagramma momenti rotazioni basato su valori medi di resistenza è consegnato nel sottostante grafico di output con l'esposizione dei parametri significativi di cui trattasi. L'andamento degradante del diagramma per curvature superiori a quella del momento massimo Mmax è dovuto alla rottura progressiva del calcestruzzo non confinato della camicia (causato dalla limitata deformazione ultima in compressione pari, generalmente, a 0.0035). Il diagramma potrebbe quindi essere interrotto anche quando il momento raggiunge l'85% di Mmax come richiesto nel §7.4.4.1.2 NTC; se ne deduce che solo attraverso la costruzione dell'intero diagramma momenti curvature è possibile stimare la curvatura ultima e quindi la duttilità in curvatura e la rotazione ultima di cui alla (C8A.6.5). In figura è anche visualizzato (per confronto) il diagramma, molto meno duttile e resistente, della sola sezione iniziale prima dell'incamiciatura.



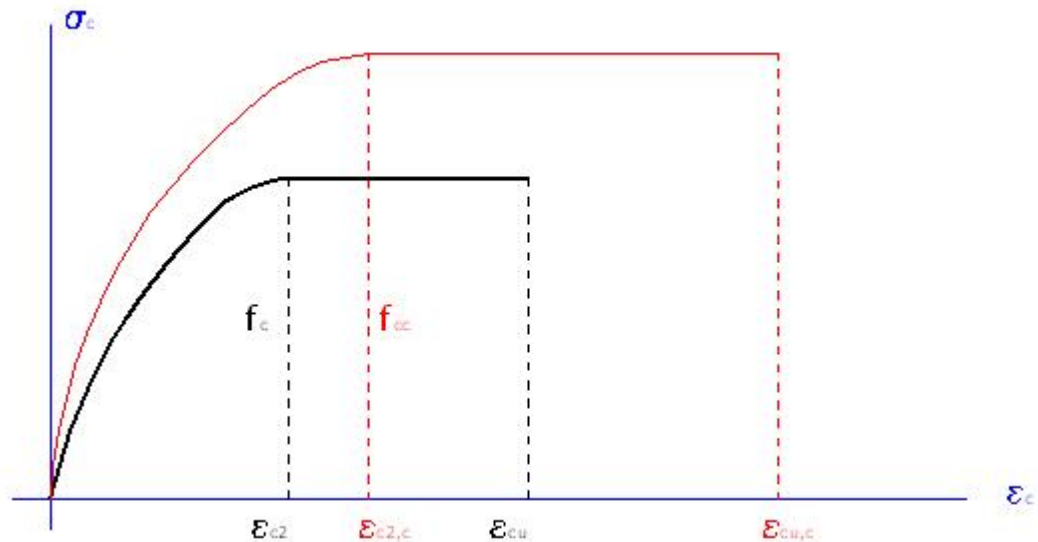
Nel caso in cui i valori di curvatura a snervamento ϕ_y e a rottura ϕ_u vengano impiegati per ottenere le corrispondenti deformabilità di rotazione a snervamento ed ultima $\phi_{y'}$ ϕ_u queste ultime vanno ridotte al 90% del loro valore in virtù delle (C8A.7.3) e (C8A.7.4) delle Istruzioni NTC.

Si fa notare che nel calcolo delle suddette curvaure allo snervamento ed ultime (e dei corrispondenti momenti) necessarie nel calcolo 'pushover' di un edificio esistente in realtà è necessario un doppio calcolo del diagramma momenti-rotazioni:

- un primo calcolo va fatto con i valori medi dei materiali per l'analisi strutturale (lato domanda di duttilità)
- un secondo calcolo va fatto utilizzando i valori medi dei materiali divisi per i relativi fattori di confidenza FC (verifica di capacità)

In ogni caso le nuove stiffe della camicia devono essere realizzate in modalità tale da risultare "confinanti" secondo le precise indicazioni delle NTC.

6.3 Duttività con angolari e bande/nastri



Il legame costitutivo parabola-rettangolo colorato in rosso si riferisce al calcestruzzo confinato con bande (o con nastri in acciaio ad alta resistenza), mentre il legame di colore nero è quello del calcestruzzo esistente non confinato la cui resistenza F_c va computata (come di consueto) come rapporto tra la resistenza media delle prove eseguite in sito ed il fattore di confidenza FC appropriato in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto: $f_c = f_m / FC$.

Per la determinazione dei parametri del calcestruzzo confinato nel programma sono impiegate le relazioni indicate nel § C8A.7.2.2 (Istruzioni NTC):

$$f_{cc} = f_c [1 + 3.7 (0.5 - n) \rho_s f_y / f_c] 0.86 \quad (C8A.7.6)$$

dove ρ_s è il rapporto volumetrico di armatura trasversale:

$\rho_s = 2(b+h) t_s / (b h)$ per camicia continua con t_s = spessore camicia ; b, h dimensione della sezione rettangolare

$\rho_s = 2 A_s (b+h) / (b h s)$ per bande o nastri discontinui con A_s = area trasversale della banda; s = passo bande

f_y = tensione di snervamento bande (nastri)

$$n = 1 - [(b-2R)^2 + (h-2R)^2] / (3 b h) \quad (C8A.7.7a)$$

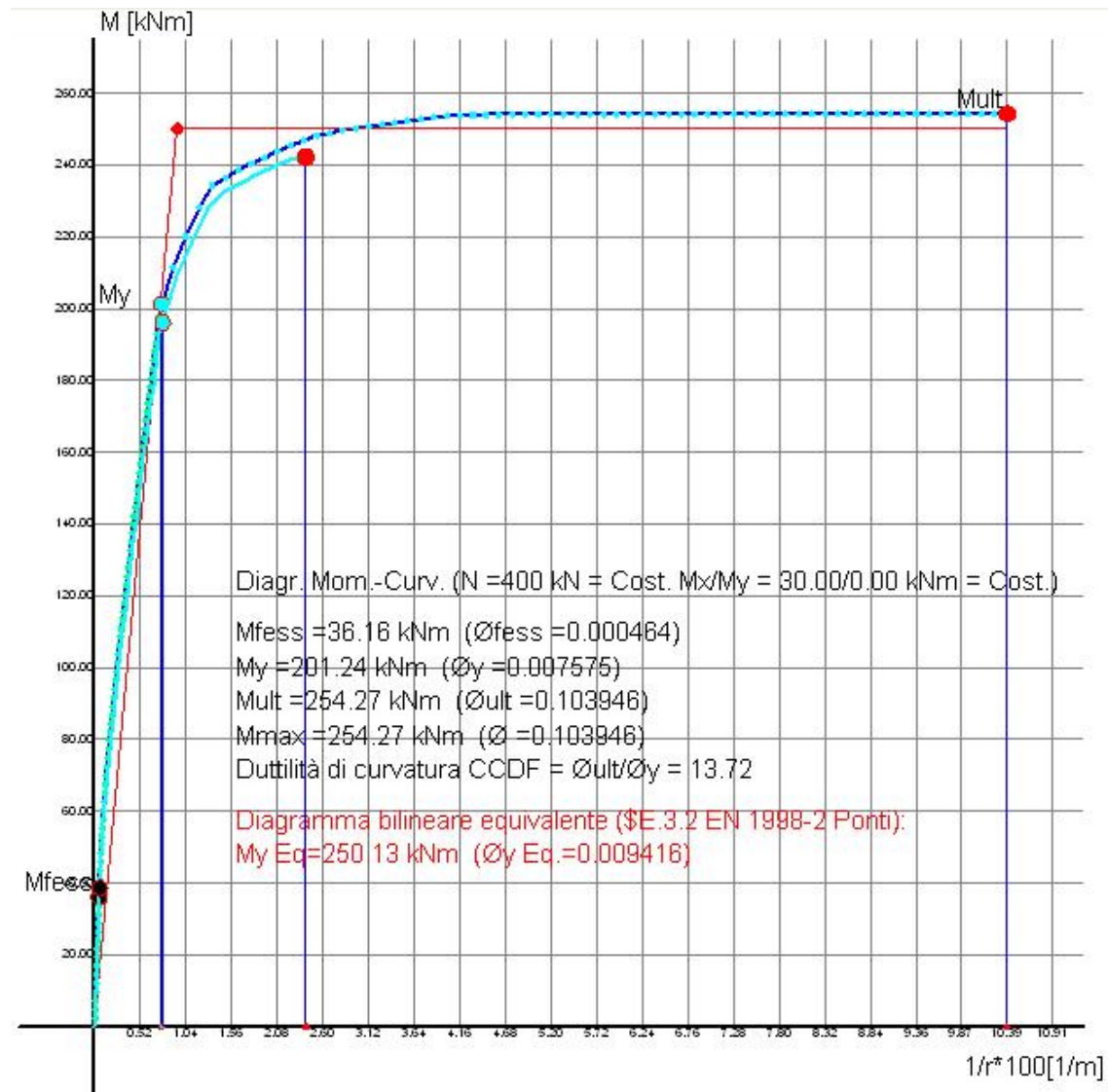
$$s = [1 - (s - h_s) / (2 b)] \cdot [(s - h_s) / (2 h)] / (3 b h) \quad (C8A.7.7b)$$

dove h_s è la larghezza delle bande discontinue (se la camicia è continua si assume $h_s = s$)

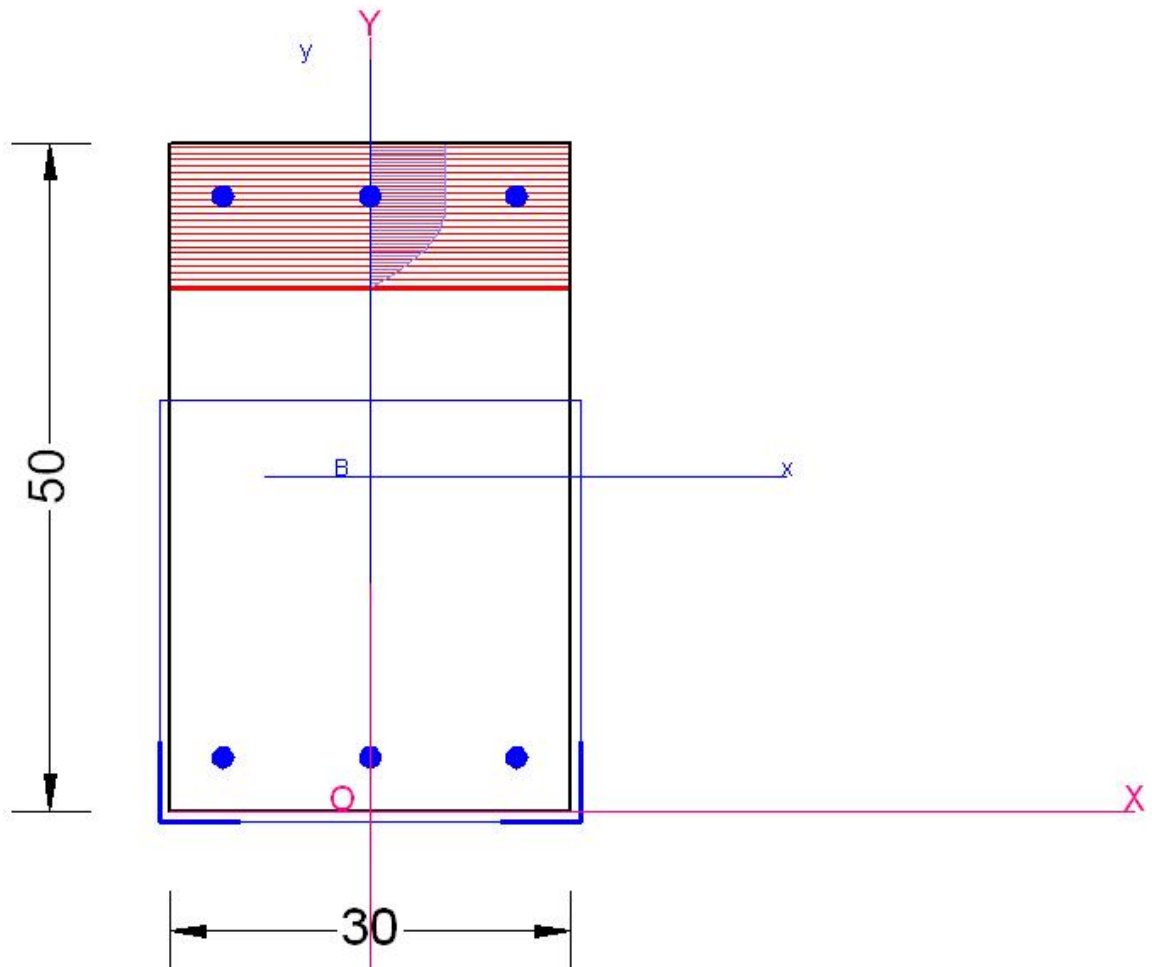
R è il raggio di arrotondamento degli spigoli della sezione da assumere pari al minore tra la lunghezza del lato degli angolari e 5 volte lo spessore degli stessi.

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.004 + 0.5 (0.5 - n) \rho_s f_y / f_{cc} \quad (C8A.7.8)$$

Il seguente diagramma momenti curvature di una sezione cerchiata con bande discontinue illustra la notevole differenza di duttilità tra la sezione iniziale (colo ciano) e quella finale confinata.



La sezione predefinita di seguito riportata si riferisce invece a quella di una trave in cui i nastri ad alta resistenza interessano solo 30 cm dell'altezza complessiva della sezione (a causa della presenza del solaio). In questo caso nessun incremento della capacità deformativa verrà considerato nei calcoli di duttilità in quanto il confinamento della sezione è solo parziale.



6.4 Duttività con staffe confinanti

Il programma prevede il calcolo delle caratteristiche di duttilità in curvatura di una sezione esistente di un pilastro NON rinforzato tenendo conto del confinamento operato dalle staffe esistenti.

Si tenga conto che è difficile che una sezione in c.a. di una costruzione esistente di non recente costruzione e situata in zona sismica possieda, nelle zone critiche, staffe in grado di fornire un sicuro confinamento al calcestruzzo situato internamente ad esse.

Il programma non considera il confinamento delle staffe esistenti nel caso di sezione di trave rinforzata.

Nel caso di pilastro rinforzato con camicia in c.a. l'intera sezione esistente viene considerata come nucleo confinato (con conseguente aumento di resistenza del calcestruzzo esistente) dalle nuove staffe della camicia; le vecchie staffe della sezione esistente, inoltre, non vengono considerate né ai fini del confinamento né ai fini della resistenza a taglio (considerate come esercitate solo dalle staffe nuove).

Verifica a taglio sezioni non rinforzate

Capitolo



7 Verifica a taglio sezioni non rinforzate

Per il calcolo della resistenza a taglio delle sezioni di travi e pilastri esistenti si fa riferimento al § C8.7.2.3.5 della Circolare NTC.

La resistenza a taglio delle sezioni esistenti per sollecitazioni di tipo gravitazionale (non sismico) va valutata come per il caso di nuove costruzioni. Naturalmente nel caso di sezioni rinforzate a taglio a tali resistenze va sommata quella del materiale aggiunto come rinforzo.

Nel caso di calcolo sismico elastico con fattore di comportamento q la resistenza a taglio della sezione esistente va valutata come per le nuove costruzioni ma la domanda a taglio va sempre valutata sulla base di un fattore di comportamento $\leq 1,5$.

Nel caso di calcolo non lineare la resistenza a taglio dipende dalla domanda di duttilità (in termini di rotazione alla corda) richiesto per l'elemento.

RESISTENZA A TAGLIO PER AZIONI GRAVITAZIONALI O SISMICHE CON $q \leq 1,5$

Viene prima illustrata la modalità con cui il programma valuta la resistenza a taglio con e senza armature trasversali della sola sezione iniziale priva di rinforzo.

Nel calcolo del taglio in presenza di staffe interviene lo stesso valore f_{cd} della resistenza di calcolo del calcestruzzo utilizzato per la verifica a flessione:

$$f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_c \cdot FC) \quad \text{in cui } f_{cm} \text{ è il valore medio dedotto dalle prove, } \gamma_c = 1.5 \text{ è il fattore sic. parziale del calcestruzzo e FC è il Fattore di confidenza}$$

questo valore è quello che va inserito nella corrispondente colonna presente nella finestra dell'archivio materiali [\[46\]](#).

Stessa derivazione va riservata al valore di snervamento f_{yd} dell'acciaio delle barre della sezione esistente ove si sostituisca γ_c con $\gamma_s = 1.15$.

Si considerano qui solo sezioni in c.a. di tipo compatto (preferibilmente convesse) appartenenti a travi o pilastri a sezione costante per le quali si prevedano armature trasversali costituite da staffe poste sempre ortogonalmente all'asse dell'asta. Si sconsiglia vivamente l'impiego del programma per le sezioni in parete sottile sia aperte che cave (mono o multicellulare) in quanto il mancato rispetto del principio della conservazione delle sezioni piane rende aleatorio il calcolo operato dal programma specie per quanto riguarda la valutazione della resistenza a taglio in regime di presso-tenso flessione deviata.

L'assorbimento del taglio è affidato al classico traliccio ideale costituito dalle armature trasversali (staffe), dalle armature longitudinali e dal corrente compresso di calcestruzzo. L'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \operatorname{ctg} \vartheta \leq 2.5 \quad (4.1.25) \text{ NTC}$$

Questa relazione esprime la possibilità che l'angolo di inclinazione delle bielle compresse possa assumere, in virtù della teoria della plasticità, valori differenti purché compresi nell'intervallo definito dalla relazione stessa.

Il metodo semiprobabilistico agli stati limite considera verificata la sezione a taglio se è rispettata la seguente relazione tra sforzi di taglio:

$$V_{Ed} \leq V_R$$

in cui il taglio resistente V_R va calcolato in doppio modo:

- con riferimento al solo calcestruzzo compresso in direzione obliqua ("taglio compressione")
- con riferimento all'armatura trasversale ("taglio trazione"), sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio appresso indicata.

Taglio resistente del calcestruzzo

Le NTC e l'EC2 prevedono il confronto del taglio di calcolo VEd con una espressione della resistenza a compressione delle bielle d'anima ("taglio compressione"). Per staffe ortogonali all'asse della trave (come qui sempre assunte) la (4.1.27) NTC si può scrivere:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \text{ctg } \vartheta / (1 + \text{ctg}^2 \vartheta)$$

in cui :

- d è l'altezza utile della sezione
- $f'_{cd} = 0,5 f_{cd}$ è la resistenza a compressione ridotta del conglomerato
- b_w è la larghezza minima della sezione misurata parallelamente all'asse neutro; rappresenta cioè la minima dimensione resistente della biella compressa dell'ideale traliccio resistente.

Taglio resistente sviluppato dalle staffe

Il taglio di calcolo VEd deve risultare inferiore alla seguente resistenza a taglio sviluppata dall'armatura trasversale ("taglio trazione" (4.1.27)NTC):

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg } \vartheta$$

in cui:

- A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale (staffe)
- s è l'interasse tra due armature successive (passo delle staffe)
- f_{yd} è la tensione di snervamento delle staffe

Le armature longitudinali, dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali, dovranno essere prolungate di:

$$a_1 = 0,9 \cdot d \cdot \text{ctg } \vartheta / 2$$

Questa relazione non è altro che la (4.1.30)NTC scritta per $\vartheta = 90^\circ$ (e l'angolo formato dalle staffe con l'asse della trave che nella presente trattazione sarà sempre assunto pari a 90°).

RESISTENZA A TAGLIO CICLICO PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO NON LINEARE)

Questa verifica a taglio riguarda solo il calcolo non lineare (pushover) e potrà essere utilizzata solo dopo l'entrata in vigore della Circolare NTC 2018 e solo nel caso in cui le seguenti note saranno integralmente confermate.

Si definisce domanda di duttilità di una sezione critica, in un qualsiasi step dell'analisi non lineare, il rapporto tra la rotazione alla corda m in quello step e la rotazione alla corda di prima plasticizzazione y .

Se detta domanda di duttilità supera il valore di 2 va calcolato il valore della resistenza ciclica a taglio fornita dalla (8.7.2.8) NTC:

$$V_R = 1/\rho_{tot} [(h-x)/(2 L_V) \min(N; 0.55 A_c f_c) + (1-0.05 \min(5; m_{pl})) [0.16 \max(0.5; 100 \rho_{tot})(1-0.16 \min(5; L_V/h)) \sqrt{f_c A_c + V_w}]]$$

Per il significato dettagliato dei simboli si rimanda al § C8.7.2.3.5 della Circolare NTC.

Per domande di duttilità superiori a 3 la resistenza va sempre calcolata con questa espressione. Per domande comprese tra 2 e 3 va assunto il minor valore tra questa espressione e la resistenza a taglio per situazioni non sismiche. Per valori inferiori a 2 si può utilizzare il maggiore tra i due suddetti valori.

Il programma prevede il calcolo della resistenza ciclica a taglio solo per domanda di duttilità superiore a 2: detto valore va immesso nella scheda dei dati iniziali. Per domande comprese tra 2 e 3 non viene effettuato il confronto con la resistenza non sismica in quanto quest'ultima risulta quasi sempre superiore.

7.1 Verifica sezioni predefinite

Le sezioni predefinite (con esclusione della sezione circolare) sono per definizione soggette a flessione retta con taglio diretto sempre nella direzione dell'asse di sollecitazione (ortogonale all'asse neutro). In genere rientrano in questa tipologia di sezioni la quasi totalità delle sezioni delle travi di impalcato. La verifica a taglio viene condotta applicando le formule (4.1.27) e (4.1.28) NTC che di seguito si riscrivono per staffe ortogonali all'asse della trave:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \text{ctg} \vartheta / (1 + \text{ctg}^2 \vartheta) \quad (4.1.28) \text{ NTC}$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg} \vartheta \quad (4.1.27) \text{ NTC}$$

sotto la condizione:

$$1 \leq \text{ctg} \vartheta \leq 2.5 \quad (4.1.25) \text{ NTC}$$

Per tutte le sezioni predefinite (esclusa quella circolare) la valutazione di b_w e d è immediata.

Il procedimento seguito dal programma per la verifica è il seguente:

Se per $\vartheta = 1$ V_{Rcd} risulta inferiore a V_{Ed} le dimensioni del calcestruzzo della sezione sono insufficienti a taglio e solo un rinforzo con camicia in ca può risolvere il problema. Uguagliando il taglio di progetto V_{Ed} a quello resistente lato compressione V_{Rcd} espresso dalla (1) si ricava il valore dell'angolo ϑ :

$$\vartheta = 0.5 \cdot \arcsin [(2 V_{Ed}) / (\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot 0,9 \cdot d \cdot b_w)]$$

se $\text{ctg} \vartheta$ soddisfa la (4.1.25) l'area A_{sw} delle staffe strettamente necessaria si ottiene dalla (4.1.27). Il confronto tra l'area effettiva delle staffe e quella strettamente necessaria determina l'esito della verifica lato acciaio.

Se $ctg \alpha > 2.5$ si pone $ctg \alpha = 2.5$.

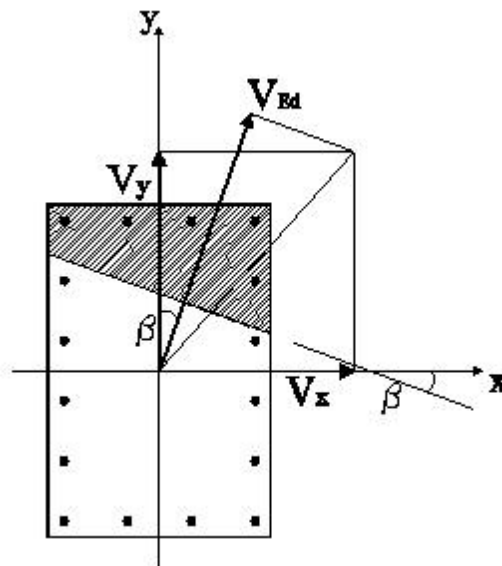
Nella finestra delle opzioni armature^[52] e' possibile assegnare un valore massimo per $ctg \alpha$ inferiore a 2.5.

7.2 Verifica per taglio biassiale

Come descritto nella verifica delle sezioni predefinite^[113] le NTC, forniscono la valutazione della resistenza ultima a taglio riferita unicamente a sezioni rettangolari per azioni taglianti parallele all'asse principale d'inerzia ortogonale all'asse neutro (flessione retta o pressoflessione retta). Lo stesso può dirsi con riferimento all'Eurocodice 2 Parte 1 che tratta l'argomento nel § 6.2 con grafici illustrativi riferiti esclusivamente ad elementi resistenti orizzontali (travi) in regime di flessione retta.

Nelle correnti applicazioni progettuali, invece, la verifica dei pilastri in c.a. dovrebbe sempre essere condotta in regime di pressoflessione deviata ed in presenza di entrambe le componenti del taglio riferite, in generale, agli assi principali d'inerzia della sezione di solo calcestruzzo. A seguito, inoltre, dell'introduzione nelle NTC del principio della gerarchia delle resistenze la capacità di resistenza al taglio richiesta ai pilastri è aumentata enormemente al punto da diventare in alcuni casi critica per il dimensionamento (si pensi ad elementi verticali tozzi come nel caso di pilastri nei vani scala interrotti da travi rampanti o di interpiano, o alle pile di piccola altezza per viadotti metropolitani).

Mentre per la pressoflessione deviata sia le NTC che gli Eurocodici forniscono ben due tipi di soluzioni approssimate, nel caso del taglio biassiale non viene data alcuna indicazione, semplificata o rigorosa che sia, in merito alle possibili modalità di calcolo. Analoga situazione si riscontra in tutti i testi di tecnica delle costruzioni e negli articoli divulgativi inerenti le nuove norme. Si propone pertanto il seguente procedimento.

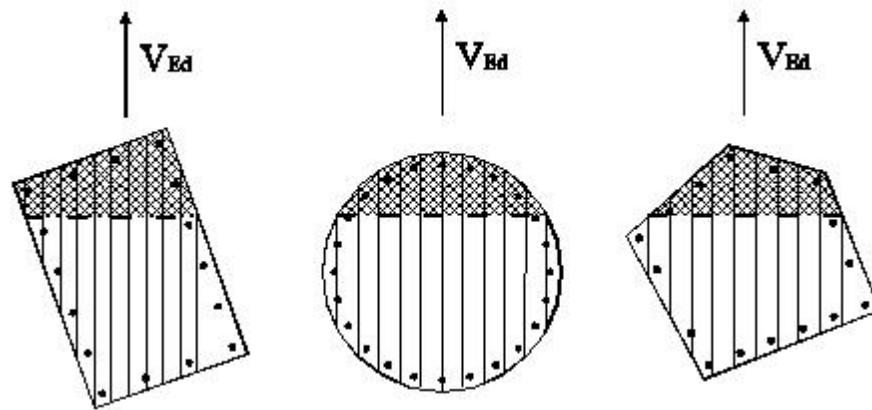


Supponendo noto l'asse neutro allo stato limite ultimo, la risultante dello sforzo di taglio non risulta in generale ortogonale a tale asse ("taglio obliquo"). Anche per la semplice sezione rettangolare di figura risulta evidente che il calcolo della resistenza a taglio condotta separatamente per le due componenti V_x e V_y sulle corrispondenti sezioni rettangolari a lati invertiti, oltre a condurre a risultati a sfavore di sicurezza è concettualmente scorretta in quanto ammette il disaccoppiamento delle componenti V_x , V_y del taglio in realtà non presente allo stesso modo di quello delle componenti M_x ,

M_y del momento flettente. Appare pertanto più appropriato assumere come giacitura del traliccio resistente a taglio quella del piano ortogonale alla direzione dell'asse neutro della sezione ottenuta dal calcolo a pressoflessione deviata allo SLU. Di conseguenza il valore del taglio sollecitante il suddetto traliccio sarà costituito dalla risultante V_{Ed} della somma delle proiezioni delle componenti V_x , V_y sulla direzione ortogonale a quella dell'asse neutro. Indicato con β l'angolo formato dall'asse neutro con l'asse principale d'inerzia x , il valore di calcolo del taglio risulta:

$$V_{Ed} = V_x \sin \beta + V_y \cos \beta$$

Si è in tal modo ricondotto il problema del taglio obliquo a quello del taglio in flessione retta. Le sezioni convesse di seguito rappresentate sono state orientate in modo da evidenziare l'ortogonalità tra la direzione del taglio V_{Ed} di progetto e l'asse neutro già noto dal calcolo allo SLU per tensioni normali (qui supposto come già effettuato).



Un approccio razionale al problema della determinazione della resistenza ultima a taglio è quello di suddividere le sezioni in un sufficiente numero di conci elementari (come in figura) tracciati parallelamente alla direzione del taglio V_{Ed} e considerare la resistenza ultima a taglio come somma di quella dei singoli conci elementari. Ogni conco viene cioè considerato allo stesso modo di una sezione rettangolare le cui resistenze a "taglio trazione" e "taglio compressione" possono essere valutate in base alle relazioni di normativa (4.1.18) e (4.1.19) di seguito riformulate con riferimento al generico conco i ed assumendo le staffe sempre ortogonali all'asse della trave ($\alpha = 90^\circ$):

$$V_{Rsd\ i} = 0,9 \cdot d_i \cdot A_{sw\ i} / s \cdot f_{yd} \cdot \operatorname{ctg} \vartheta \quad (1)$$

$$V_{Rcd\ i} = 0,9 \cdot d_i \cdot b_i \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \vartheta \quad (2)$$

in cui:

d_i altezza utile del conco i misurata in corrispondenza del perimetro che collega i baricentri delle barre longitudinali;

$A_{sw\ i}$ quota parte ideale dell'area delle staffe impegnate dal conco i ;

s passo delle staffe;

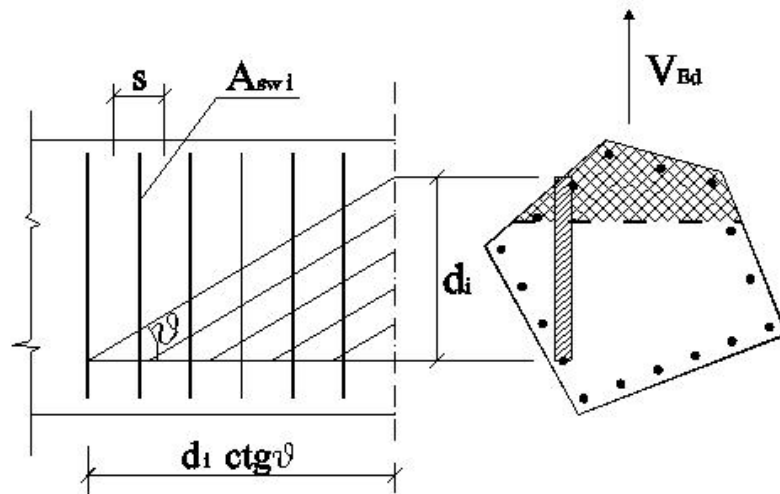
f_{yd} tensione di snervamento di calcolo delle staffe;

f_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo ($0,5 \cdot f_{cd}$);

α_c coefficiente maggiorativo per sforzo assiale di compressione;

ϑ angolo di inclinazione delle bielle compresse (uguale per tutti i tralicci elementari).

Perché il singolo concio possa costituire la traccia (sulla sezione trasversale del pilastro) di un elementare traliccio isostatico è necessario che i suoi due estremi ricadano rispettivamente nel corrente compresso del traliccio (zona compressa della sezione per effetto della flessione composta allo SLU) e nel corrente teso costituito dalle barre longitudinali perimetrali. Per soddisfare la prima condizione vengono esclusi i conci non sottesi dall'asse neutro. La seconda condizione può considerarsi soddisfatta se l'armatura longitudinale del pilastro è sufficientemente distribuita lungo il perimetro della sezione (armatura tubolare).



Sulla base delle ipotesi assunte si è rappresentato in figura lo schema longitudinale del traliccio elementare resistente corrispondente al generico concio di altezza utile d_i . Per poter valutare compiutamente la resistenza a "taglio trazione" espressa dalla (1) resta da definire A_{sw} i cioè l'area trasversale delle staffe di competenza del generico traliccio elementare. Nella (1) risulta evidente che tale resistenza è direttamente proporzionale all'altezza utile d_i del concio (considerando costanti tutti gli altri fattori) per cui appare logico assumere:

$$A_{swi} = d_i / \sum d_i \cdot A_{sw}$$

Di conseguenza le resistenze a "taglio trazione" e "taglio compressione", questa volta riferite all'intera sezione, diventano:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot (\sum d_i^2 / \sum d_i) A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg} \vartheta \quad (3)$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot (\sum d_i \cdot b_i) \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \sin \vartheta \cdot \cos \vartheta \quad (4)$$

In base alla (4.1.20) delle NTC come resistenza a taglio della trave va assunta quella di minore valore tra le due appena definite.

Le (3) e la (4) sono equivalenti alle corrispondenti formule di normativa (4.1.18) e (4.1.19) a condizione di porre:

$$d = \frac{\sum d_i^2}{\sum d_i} = d_{eq}$$

$$d \cdot b_w = \sum (d_i \cdot b_i) = A_{eq}$$

$$b_{weq} = A_{eq} / d_{eq}$$

I valori b_w eq d_{eq} così ottenuti definiscono, per qualsiasi forma di sezione calcolata, base ed altezza di una sezione rettangolare equivalente ai fini della resistenza ultima a taglio. Tali dimensioni equivalenti consentono, cioè, di utilizzare lo stesso procedimento di verifica a taglio^[113] illustrata per le sezioni predefinite.

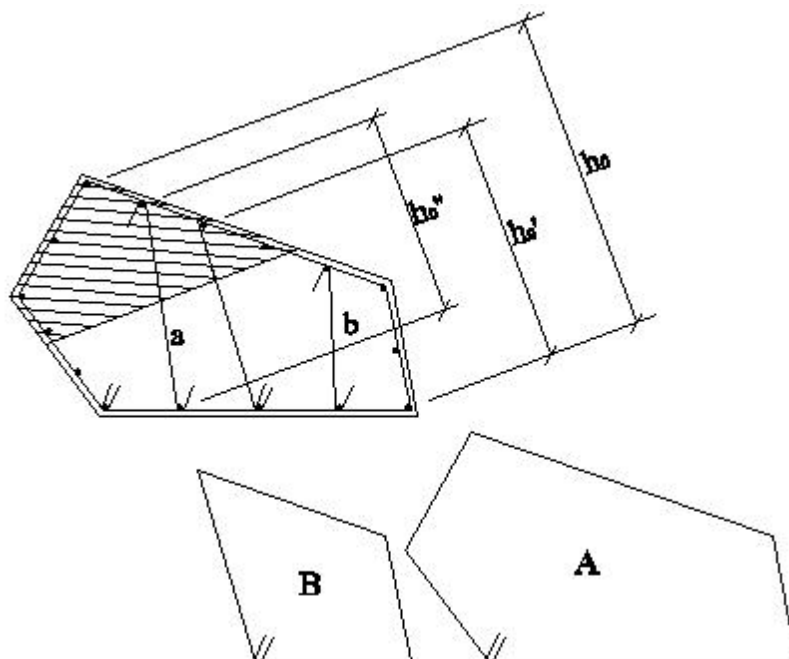
7.3 Area resistente staffe e legature

Le NTC (analogamente all'EC8) prescrivono, nelle zone critiche dei pilastri, la presenza sia di staffe chiuse di contenimento delle armature longitudinali poste negli spigoli della sezione, sia di legature disposte in modo tale da trattenere le barre longitudinali (almeno una barra ogni due) situate lungo i lati della sezione.

A fronte di una elevata domanda di resistenza a taglio biassiale richiesta in queste zone si cerca nel seguito di valutare l'area efficace resistente a taglio fornita non solo dalle staffe ma anche dalle legature effettivamente disposte nella sezione con lo stesso passo delle staffe.

Si assume qui che al variare della direzione del taglio (come di norma si verifica nelle varie combinazioni previste nel calcolo sismico), varia di conseguenza l'area resistente a taglio delle staffe e delle legature.

Per fissare le idee si consideri la generica sezione, rappresentata nella figura seguente, di un pilastro a contorno poligonale (convesso) armata trasversalmente mediante due staffe chiuse di confinamento denominate A, B e due legature a, b.



Per quanto riguarda la staffa perimetrale A che percorre l'intero contorno della sezione si può affermare che, indipendentemente dalla direzione del taglio, il suo contributo può essere sempre assunto pari a due volte l'area della sezione trasversale della staffa stessa. L'efficacia di questa staffa è infatti sempre massima in quanto essa involupa in ogni caso il puntone del traliccio resistente di massima altezza per qualsiasi direzione del taglio. Detta massima efficacia può essere commisurata alla massima distanza tra le barre longitudinali misurata sulla direzione del taglio (lunghezza h_0 in figura). A partire dalle due barre più distanti è sempre possibile individuare due bracci resistenti (ognuno dei quali costituito da più lati della staffa) che sviluppano un'area efficace a taglio pari a due volte l'area della sezione della staffa che essi stessi costituiscono.

L'area efficace di ulteriori staffe chiuse (come la staffa B) ma tali da non percorrere l'intero perimetro della sezione, può essere valutata riducendo l'area dei due bracci a mezzo di un fattore pari al rapporto h_0'/h_0 in cui h_0' è la massima distanza tra le barre racchiuse dalla staffa interna misurata sempre sulla direzione del taglio. La capacità resistente a taglio delle singole staffe viene cioè considerata proporzionale alla propria altezza utile d_i ; il rapporto tra l'altezza utile d_i della staffa interna e quella d_0 della staffa perimetrale è stato pertanto assunto in programma pari (con buona approssimazione) a quello h_0'/h_0 sopra indicato.

Con analogo ragionamento si può considerare efficace l'area della singola legatura ridotta a mezzo del rapporto h_0''/h_0 in cui h_0'' è la proiezione della lunghezza della legatura sulla direzione del taglio. A favore di sicurezza potrebbero escludersi dal computo le legature in cui almeno una delle due estremità non ricada nella zona compressa della sezione.

Le NTC prevedono, allo scopo di conseguire un adeguato livello di duttilità sezionale nelle zone critiche dei pilastri, un quantitativo minimo di armature trasversali fissato dalla (7.4.28) che nella seguente relazione viene espresso come rapporto meccanico delle armature trasversali di confinamento valutate nella sola direzione del taglio:

$$\omega_{wd} = V_s/V_c \cdot f_{yd}/f_{cd} \geq 0,08 \div 0,12$$

in cui:

$V_s = A_{st} \cdot h_{st}$ = volume bracci staffe paralleli alla direzione del taglio

$V_c = s \cdot b_{st} \cdot h_{st}$ = volume calcestruzzo confinato

s = passo delle staffe lungo l'asse del pilastro

b_{st}, h_{st} = base ed altezza della staffa rettangolare = area calcestruzzo confinato

0,08÷0,12 = valori minimi del rapporto meccanico previsti nelle varie zone critiche

Nella formula di normativa si è evidentemente fatto riferimento ad una sezione rettangolare con staffe rettangolari perimetrali aventi dimensioni b_{st}, h_{st} in presenza di taglio con direzione parallela a quella dei bracci h_{st} . Naturalmente nell'area A_{st} possono essere compresi sia l'area dei due bracci h_{st} della staffa sia le legature parallele agli stessi bracci. La stessa formula (7.4.28) andrebbe anche verificata assumendo il taglio agente nella direzione ortogonale; in tal caso al valore di b_{st} verrebbe sostituito quello di h_{st} e in A_{st} andrebbero comprese le legature parallele a b_{st} . Nell'ottica della presente trattazione del taglio obliquo, la verifica del rapporto meccanico di armatura trasversale va invece effettuata per ogni combinazione di carico e nella sola direzione del taglio ad essa associata assumendo come area A_{st} quella efficace calcolata secondo le indicazioni sopra riportate e sostituendo all'area

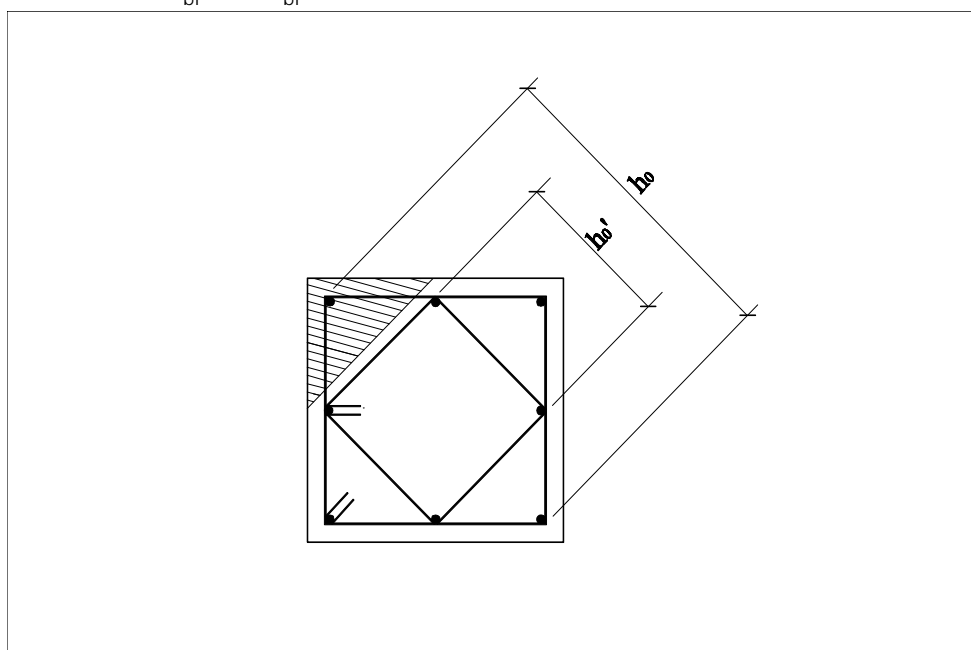
confinata $b_{st} \cdot h_{st}$ della sezione rettangolare quella (sempre confinata) della sezione equivalente $b_{weq} \cdot d_{eq}$ individuata nel precedente paragrafo.

Si consideri, ad esempio, la seguente sezione quadrata armata trasversalmente con due staffe di contenimento, pure quadrate, ed aventi la medesima sezione di area A_{br} . Con riferimento al taglio con risultante inclinata di 45° rispetto ai lati della sezione, l'area efficace della staffa esterna perimetrale è pari a quella di due bracci: $2 A_{br}$. Per quanto sopra detto l'area efficace della staffa interna può essere valutata pari a:

$$2 A_{br} h_0' / h_0 = A_{br}$$

In totale, quindi, l'area efficace resistente al taglio inclinato di 45° risulta pari all'area della sezione trasversale di 3 bracci.

Nel caso, invece, in cui il taglio sia parallelo ai lati, risultando $h_0' = h_0$, possono assumersi come efficaci n. 4 bracci. Per tutte le inclinazioni intermedie, quindi, l'area efficace dell'armatura trasversale da assumere nelle verifiche di duttilità e di resistenza a taglio varia da $3 A_{br}$ a $4 A_{br}$.

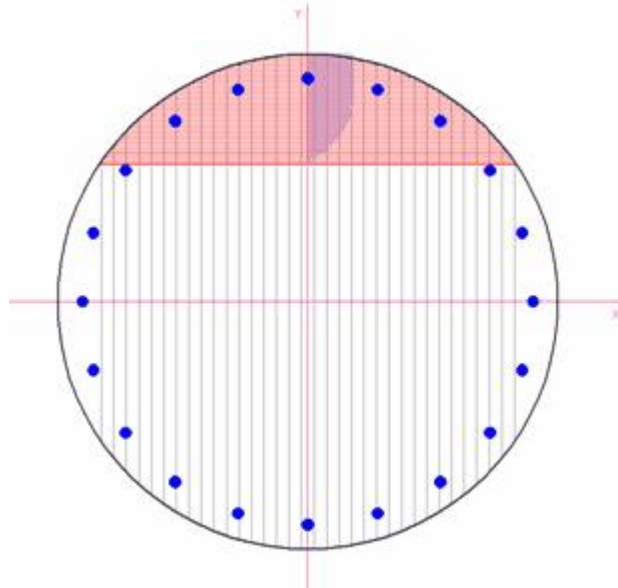


Esempio di calcolo

Con riferimento ad una generica sezione circolare costituita da materiali nuovi può essere interessante confrontare i risultati ottenuti dal calcolo numerico con il valore dell'altezza utile d indicato nel § 7.9.5.2.2 delle NTC (verifiche a taglio delle pile dei ponti in assenza di calcoli più accurati):

$$d = r + 2 r / \pi$$

in cui r è il raggio della sezione circolare.



La sezione circolare assunta come esempio in figura ha un raggio di 40 cm ed un'armatura costituita da $20\Phi 18$ in acciaio ($f_{yd} = 39,13$ MPa) con copriferro (misurato dal baricentro delle barre) pari a 4 cm. Il calcestruzzo è di classe C25/30 ($f_{cd} = 14,17$ MPa).

Mentre il valore fornito dalla citata norma è fisso e pari a $d = 65,5$ cm, quello fornito dal calcolo varia in funzione dello sforzo normale applicato e quindi della posizione dell'asse neutro allo SLU; in particolare si hanno i seguenti valori dell'altezza utile equivalente d in funzione di alcuni valori assegnati allo sforzo normale adimensionalizzato $n = N / (A_c \cdot f_{cd})$:

$$d = 67,0 \text{ (} b_w = 64,7 \text{)} \quad \text{per } \nu = 0,0$$

$$d = 65,0 \text{ (} b_w = 71,0 \text{)} \quad \text{per } \nu = 0,1$$

$$d = 64,0 \text{ (} b_w = 73,4 \text{)} \quad \text{per } \nu = 0,2$$

I risultati ottenuti dal calcolo sono in buon accordo con il valore di normativa solo per $n = 0,1$.

7.4 Verifica del conglomerato compresso

Le NTC prevedono il confronto del taglio di calcolo V_{Ed} con una espressione della resistenza a compressione delle bielle d'anima ("taglio compressione"). Per staffe ortogonali all'asse della trave (come qui sempre assunte) la (4.1.28) NTC si può scrivere:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}^* \cdot \text{ctg} \vartheta / (1 + \text{ctg}^2 \vartheta)$$

in cui:

$$f_{cd}^* = 0,5 f_{cd}$$

b_w = larghezza minima della sezione misurata parallelamente all'asse neutro; rappresenta cioè la minima dimensione resistente della biella compressa dell'ideale

traliccio resistente. Tale larghezza minima è immediatamente determinata per le sezioni predefinite^[113] in flessione retta. In caso di pressoflessione deviata e per sezioni generiche vale quanto detto al riguardo (larghezza equivalente) nel paragrafo verifica per taglio biassiale^[114].

d = distanza (altezza utile) tra le armature tese e la fibra più compressa del conglomerato (sezioni predefinite). Questa misura è di tipo equivalente nel caso di taglio biassiale^[114] e per sezioni generiche.

α_c = coefficiente maggiorativo della resistenza in funzione del valore medio della compressione nella sezione $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$:

$$\begin{aligned} &= 1 && \text{per membrature non compresse} \\ &= 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} && \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd} \\ &= 1,25 && \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd} \\ &= 2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd}) && \text{per } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd} \end{aligned}$$

Conviene impostare tra le opzioni di calcolo del programma un passo medio di discretizzazione, tra una fibra e l'altra, intorno a cm. 0,5 dimostratosi sufficiente per individuare, con buona precisione, il valore b_w cercato.

7.5 Verifica armature a taglio

Una volta verificata la condizione (4.1.27) NTC la sezione in calcestruzzo è idonea ad assorbire la sollecitazione di taglio (in caso contrario va ridimensionata) mediante opportune armature che nella presente esposizione sono previste costituite da sole staffe ortogonali all'asse della trave.

Il taglio di calcolo V_{Ed} deve risultare inferiore alla seguente resistenza a taglio sviluppata dall'armatura trasversale ("taglio trazione"):

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg } \theta$$

in cui:

A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale (staffe)

s è l'interasse tra due armature successive (passo delle staffe)

f_{yd} è la tensione di snervamento delle staffe (nel programma assunta uguale a quella delle barre longitudinali)

Le NTC prevedono per le travi (soggette a flessione e taglio) la seguente sezione complessiva minima di staffe:

$$A_{st} = 1,5 \cdot b_w \quad [\text{mm}^2/\text{m}]$$

con b_w espresso in mm.

L'interasse minimo di tali staffe deve essere non minore di $0,8 \cdot d$ comunque devono prevedersi non meno di 3 staffe al metro.

Solo per la sezione rinforzata il programma controlla l'area minima delle staffe al metro che del passo minimo delle staffe, in quanto si dà per scontato che nella sezione iniziale è quasi impossibile riscontrare la verifica (nel calcolo sismico) dei quantitativi minimi e delle disposizioni costruttive previste in normativa per le nuove costruzioni.

Verifica a taglio sezioni rinforzate

Capitolo



8 Verifica a taglio sezioni rinforzate

Alla resistenza a taglio della sezione iniziale (valutata i nuove costruzioni per situazioni non sismiche considerando comunque un contributo del conglomerato al massimo pari a quello relativo agli elementi senza armature a taglio) va sommata quella del materiale aggiunto per rinforzo a taglio.

Nei prossimi paragrafi verranno esaminate le seguenti possibilità di rinforzo a taglio:

- Rinforzo a taglio con FRP^[124]
- Rinforzo a taglio con incamiciatura in c.a.^[126].
- Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande/nastri in acciaio^[127]

8.1 Rinforzo a taglio con FRP

La disposizione delle fibre è sempre prevista ortogonale ($\theta = 90^\circ$) rispetto all'asse dell'asta.

Operando con le CNR 2013 l'angolo θ può variare come previsto nelle NTC: $1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2.5$. Il valore 2.5 massimo di default di $\text{ctg } \theta$ può essere ridotto a discrezione dell'utente nella finestra delle opzioni armature e di calcolo^[52].

Il contributo di resistenza a taglio $V_{Rd,f}$ del rinforzo FRP va sommato a quello dell'armatura trasversale $V_{Rd,s}$ in acciaio. Il taglio di progetto deve essere inoltre inferiore alla resistenza a taglio lato calcestruzzo d'anima $V_{Rd,max}$ di cui alla (4.1.28) NTC:

$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rsd} + V_{Rfd,f}; V_{Rcd} \}$$

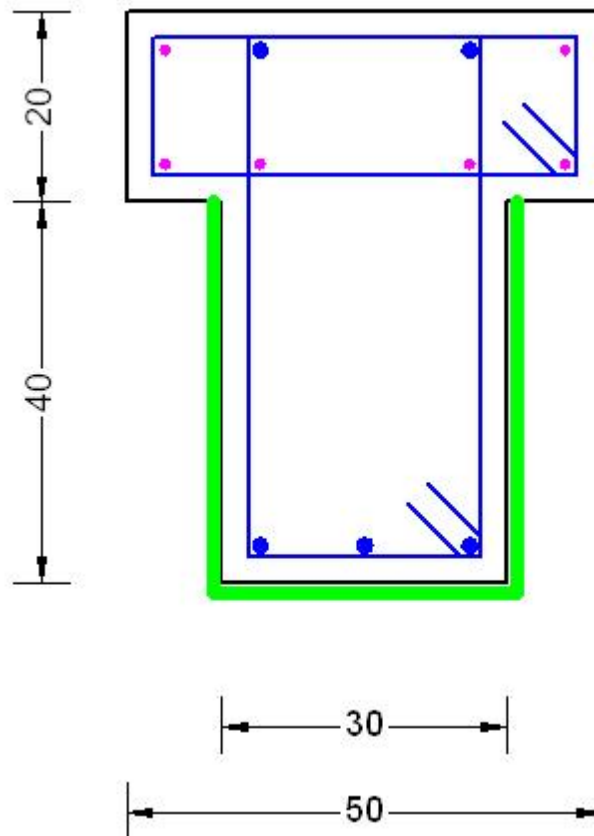
In cui V_{sd} è fornito dalla (4.1.27) NTC.

Il contributo $V_{Rfd,f}$ del rinforzo FRP va valutato secondo la (4.19) CNR2013 in cui si è implicitamente posto $\cot \theta = 0$:

$$V_{Rd,f} = 1 / \alpha_{Rd} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot \cot \theta \cdot w_f / p_f$$

dove w_f e p_f sono rispettivamente la larghezza ed il passo delle strisce, $\alpha_{Rd} = 1.2$ per il rinforzo a taglio, mentre il valore di f_{fed} varia a seconda della disposizione del rinforzo a taglio:

- nel caso di disposizione ad U:



$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_e}{\min\{0.9 \cdot d; h_w\}} \right]$$

dove f_{fdd} è la resistenza alla delaminazione in Modalità 1 [formula (4.6) CNR2013] e h_w la quota parte dell'altezza dell'anima della trave impegnata dal rinforzo ad U.

Nel caso della sezione di trave 'ribassata' in figura non volendo utilizzare dispositivi meccanici di ancoraggio si dovrà assumere per h_w l'altezza disponibile della sezione sotto l'ala ridotta della lunghezza ottimale di ancoraggio l_e : $h_w = 40 - l_e$. (con l_e fornita dalla (4.1) CNR2013).

Per la determinazione di f_{fdd} va inoltre applicata la (4.6) CNR2013 in cui:

$$k_b = \sqrt{(2 - w_f/p_f)/(1 + w_f/400)} \geq 1$$

Il basso valore della resistenza alla delaminazione f_{fdd} in modalità 1 crea la necessità di elevati quantitativi di FRP per poter colmare la richiesta di resistenza ed inoltre al crescere degli spessori si ha l'aumento della lunghezza ottimale di ancoraggio l_e che costringe a ridurre l'altezza utile h_w . Ciò può determinare la necessità di particolari costruttivi idonei a garantire l'ancoraggio meccanico del rinforzo alla struttura con la notevole complicazione che questi devono essere validati sperimentalmente [cfr. 8^[240]].

- nel caso di disposizione in avvolgimento: (utilizzata sempre nel caso di pilastri ma piuttosto onerosa nel caso di travi)

[nel caso di contemporaneo avvolgimento per confinamento dello stesso tratto nodale di pilastro l'avvolgimento a taglio va sommato a quello per confinamento in quanto il massimo taglio è contemporaneo alla massima richiesta di confinamento per duttilità]

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - 1/6 \cdot l_e / \min\{0.9 \cdot d; h_w\} \right] + 1/2 \cdot (\Phi_R \cdot f_{fd} \cdot f_{fdd}) \cdot \left[1 - l_e / \min\{0.9 \cdot d; h_w\} \right]$$

in cui:

$$f_{fd} = E_f \cdot \sigma_{fd} = E_f \cdot \sigma_a \cdot f_{fk} / f = \text{resistenza di progetto a rottura del rinforzo FRP}$$

$$\Phi_R = 0.2 + 1.6 \cdot r_c / b_w \quad \text{essendo } r_c \text{ il raggio di curvatura (mai minore di 20 mm) dell'arrotondamento degli spigoli della sezione interessati dal rinforzo}$$

$$b_w = w_f = \text{larghezza striscia FRP applicata}$$

$$0 \leq r_c / b_w \leq 0.5$$

8.2 Rinforzo a taglio sezioni con incamiciatura in ca

L'incamiciatura con c.a. è prevista per sezioni rettangolari (predefinite e pilastri rettangolati), circolari predefinite e poligonali convesse nella tipologia delle sezioni generiche.

Nel programma la disposizione delle staffe, sia esistenti che nuove di rinforzo, è sempre prevista ortogonale ($\text{ctg } \theta = 0$) rispetto all'asse dell'asta.

L'angolo di inclinazione dei puntoni di taglio può variare come da normativa: $1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2.5$. Il valore 2.5 massimo di default di $\text{ctg } \theta$ può essere ridotto dall'utente nella finestra delle opzioni armature e di calcolo^[52].

L'aumento di resistenza a taglio per effetto dell'incamiciatura in c.a. viene calcolato allo stesso modo (in quanto ugualmente efficace) sia nel caso in cui le barre longitudinali della camicia sono passanti attraverso i nodi che nel caso opposto.

Il contributo di resistenza a taglio V_{Rsad} delle staffe di rinforzo non viene sommato a quello dell'armatura trasversale delle staffe esistenti. Quest'ultimo viene trascurato in quanto di incerta determinazione nell'ambito della nuova sezione composta sia in quanto di trascurabile entità rispetto alla notevole entità della resistenza a taglio sviluppata dalle nuove staffe grazie alla loro quantità e alla nuova elevata altezza utile della sezione. Il taglio di progetto deve essere inoltre inferiore alla resistenza a taglio lato calcestruzzo d'anima V_{Rcd} di cui alla (4.1.28)NTC:

$$V_{Rd} = 0.9 \cdot \min \{ V_{Rsad}; V_{Rcd} \}$$

In cui:

0.9 coefficiente di riduzione di resistenza disposta dalla (C8A.7.1) Circolare NTC

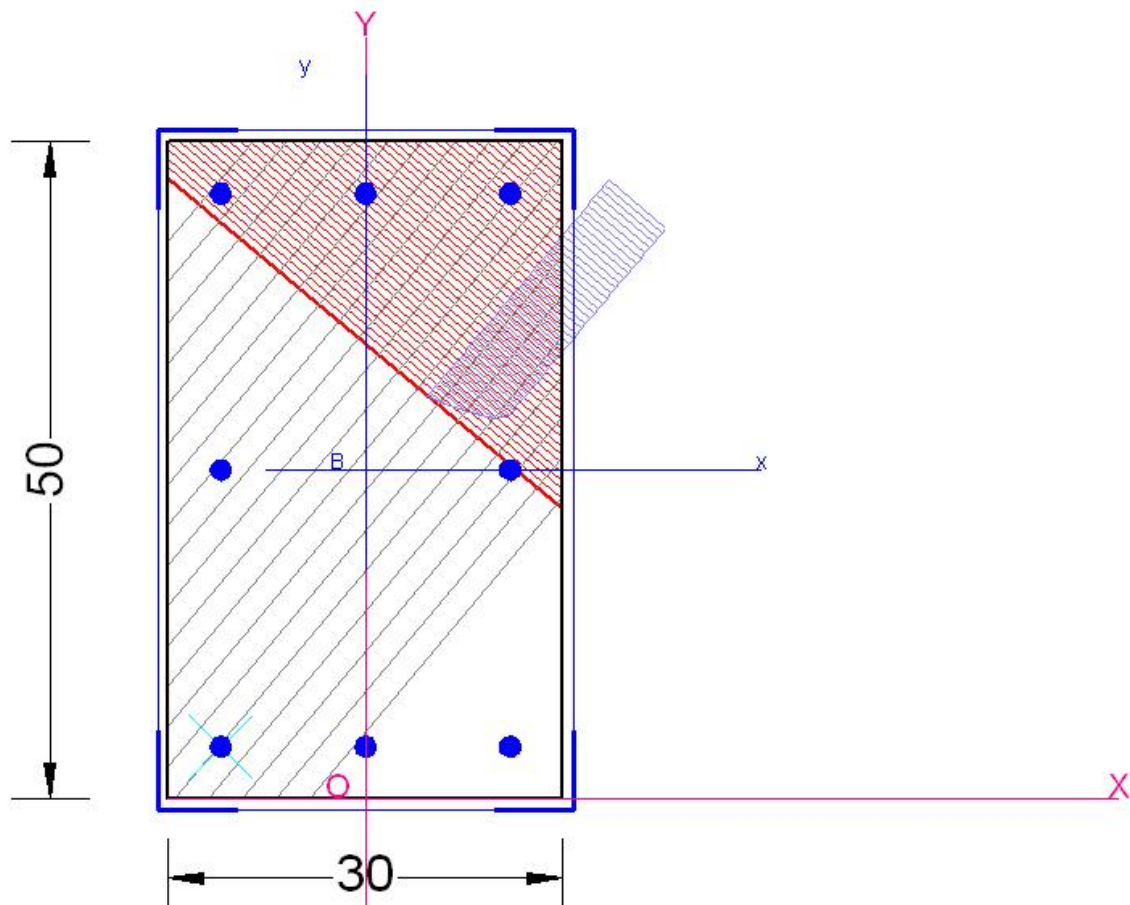
V_{Rsad} dalla (4.1.27)NTC riferita alle nuove staffe della camicia utilizzando l'altezza utile d della sezione complessiva e la resistenza f_{yd} delle nuove staffe.

V_{Rcd} dalla (4.1.28) NTC riferita alla nuova sezione (riguardo a b_w e d) ma con f'_{cd} del calcestruzzo della vecchia sezione.

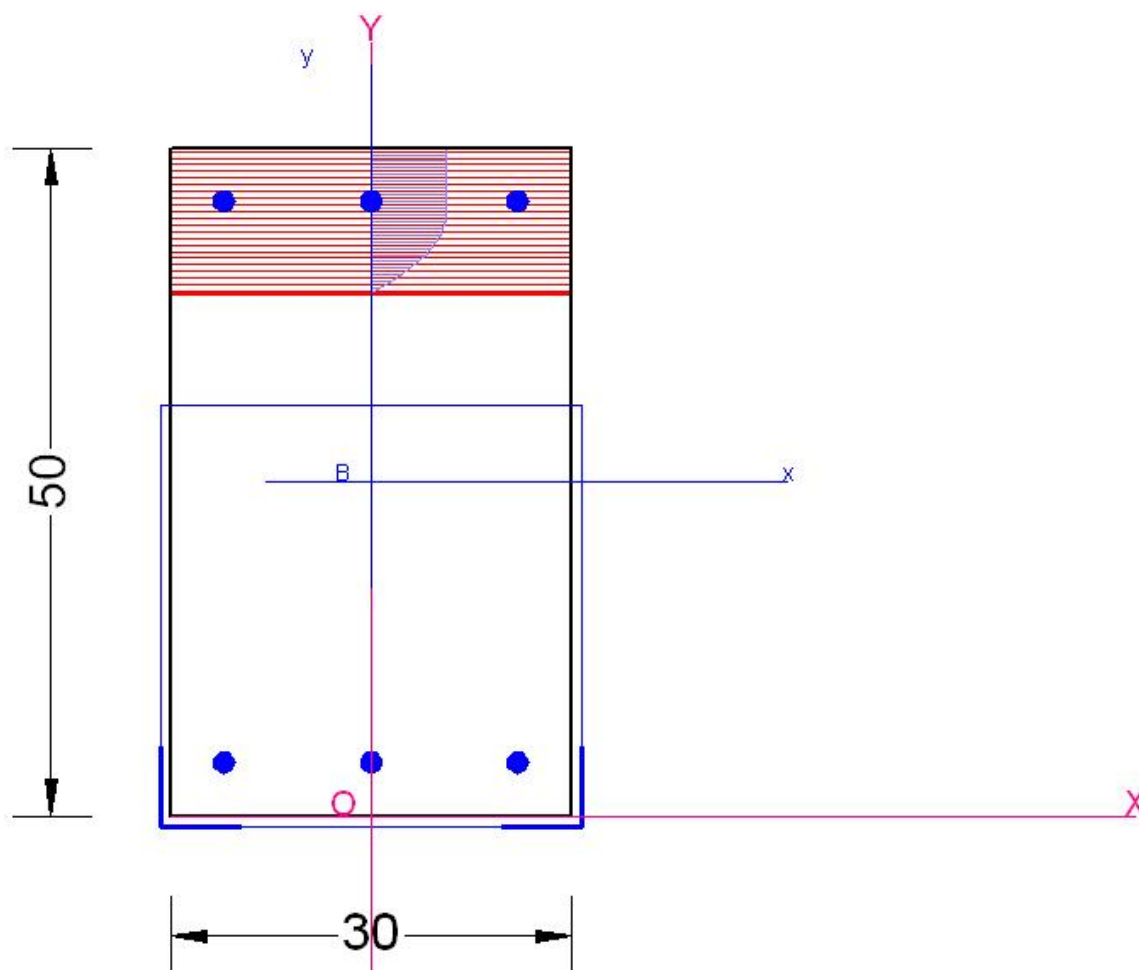
Il calcolo della resistenza a taglio della sezione incamiciata viene svolto anche nel caso di sollecitazione biassiale.

8.3 Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande

In genere questo tipo di rinforzo si effettua su pilastri rettangolari mediante 4 angolari pressopiegati e bande o nastri ad alta resistenza.



Per travi 'ribassate' in cui non si vuole intervenire sull'estradosso per evitare forature nel solaio si può adottare un rinforzo a taglio (vedi figura seguente) che interessi solo parzialmente la sezione mediante nastri ad alta resistenza. Quest'ultimo caso è previsto in programma solo per sezioni rettangolari predefinite.



La resistenza totale a taglio della sezione è data dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rsd} + V_j; V_{Rcd} \}$$

in cui:

V_{Rsd} dalla (4.1.27)NTC riferita alle staffe della vecchia sezione utilizzando i corrispondenti valori per l'altezza utile d e per la resistenza a snervamento f_{yd} .

V_{Rcd} dalla (4.1.28)NTC riferita alla sezione iniziale.

V_j è l'incremento di resistenza a taglio dovuta al confinamento da valutarsi con la (C8A.7.5) della Circolare NTC opportunamente corretta (per un refuso ivi presente) come segue:

$$V_j = 0,5 \cdot 2 \cdot t_j \cdot b / s \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yw} \cdot ctg \quad (CA8.7.5)$$

in cui

t_j , b , s sono rispettivamente spessore, larghezza e interasse delle bande ($b=s$ nel caso di camicie continue), f_{yw} è la resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio delle bande, d è l'altezza utile della sezione nella direzione del taglio (da ridurre nel caso di bande agenti solo su parte dell'altezza della trave come nell'ultimo grafico illustrato), θ è l'inclinazione assunta per l'intera sezione dei puntoni di calcestruzzo resistenti nel traliccio di Morsh ($1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2.5$).

Verifica a torsione con rinforzo FRP

Capitolo



IX

9 Verifica a torsione con rinforzo FRP

Quasi sempre la torsione rappresenta una sollecitazione secondaria in quanto non essenziale all'equilibrio della struttura allo stato limite ultimo. In tal caso il calcolo torsionale delle sezioni non è necessario, essendo sufficienti le armature trasversali minime fissate dalle NTC ad evitare una eccessiva fessurazione prodotta dalla torsione di tipo secondario, conseguenza soprattutto delle deformazioni flessionali. Qui viene pertanto trattato il caso di torsione primaria in quanto necessaria all'equilibri della sezione allo SLU.

In programma per il calcolo a torsione sono previste sezioni rettangolari, circolati e poligonali piene o cave. Sono esplicitamente escluse dalla presente trattazione le sezioni costituite da profili sottili aperti e le sezioni pluriconnesse.

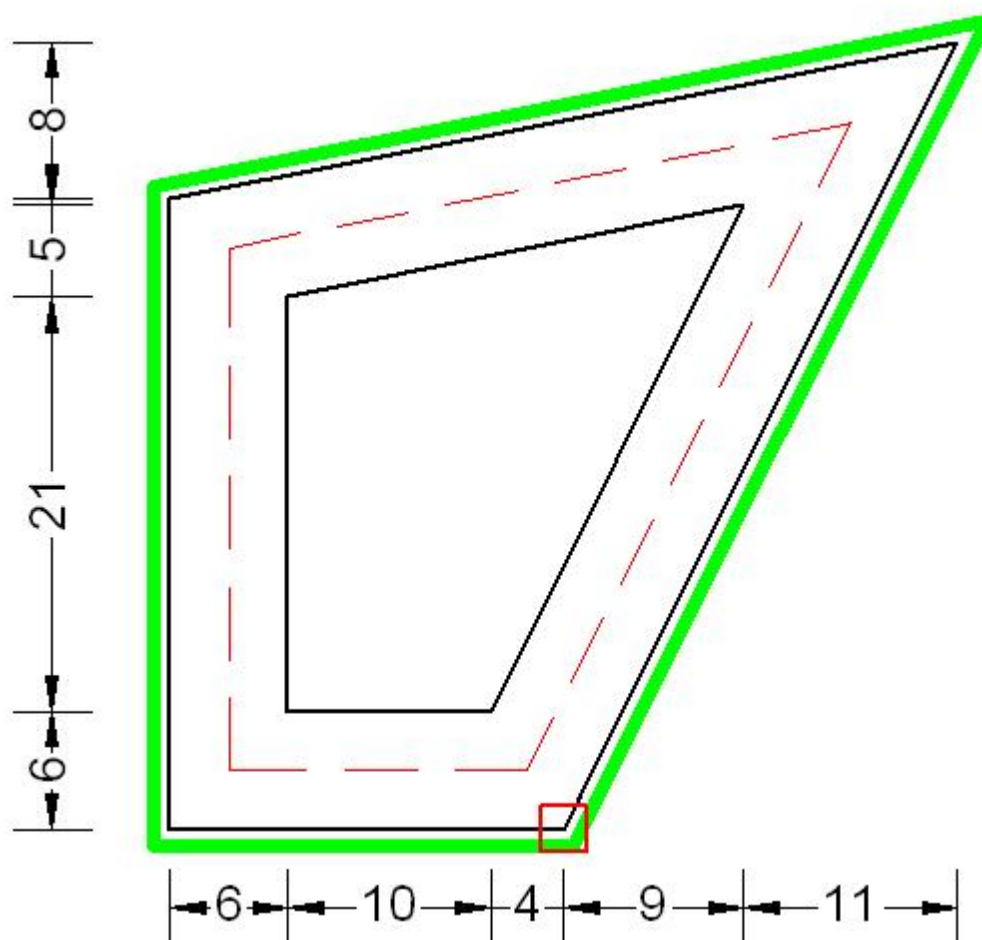
La verifica di resistenza SLU a torsione consiste nel controllare che

$$T_{Rd} \geq T_{Ed} \quad (4.1.34) \text{ NTC}$$

in cui T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente agente e T_{Rd} è il momento resistente a torsione fornito dalla:

$$T_{Rd} = \min\{T_{Rsd} + T_{Rd,f}; T_{Rld}; T_{Rcd}\}$$

Il metodo di calcolo di seguito descritto è quello previsto dalle NTC in quanto riferibile a sezioni in c.a. piene o cave per le quali si possa ipotizzare un flusso anulare di tensioni tangenziali e, di conseguenza, si possa assumere un traliccio tubolare resistente in cui gli sforzi di trazione siano affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi obliqui di compressione alle bielle di conglomerato di parete.



Con riferimento alla generica sezione poligonale cava di figura, si assume come spessore t della sezione cava equivalente il rapporto A_c/u dove A_c è l'area della intera sezione ed u è il suo perimetro. Se t risulta inferiore al copriferro misurato dal baricentro delle barre t va preso uguale a due volte detto copriferro. Nel caso, come questo, in cui la sezione sia realmente cava, si assumerà nei calcoli lo spessore effettivo se questo risulta minore di t .

Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo i lati della sezione cava, ma comunque una barra deve essere sempre presente su tutti i suoi spigoli.

Verifica della resistenza

I momenti resistenti sviluppati dal solo calcestruzzo e barre in acciaio della sezione in c.a. valgono:

a) Conglomerato:
$$T_{Rcd} = 2 A \cdot t \cdot f_{cd} \cdot ctg / (1 + ctg^2)$$

b) Staffe:
$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot A_s/s \cdot f_{yd} \cdot ctg$$

c) Armat. longit.:
$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \Sigma A_1 / u_m \cdot f_{yd} / ctg$$

con:

A = area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

A_s = area della sezione di un braccio della staffa;

s = passo delle staffe;

ΣA_l = somma delle aree delle barre longitudinali;

$f'_{cd} = 0,5 f_{cd}$

$f_{yd} = f_{yk} / 1,15$ = tensione di calcolo delle staffe

ctg = cotangente dell'inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave. Deve essere: $1 \leq ctg \theta \leq 2,5$ (§4.4.3.1 CNR2013);

nel caso di torsione e taglio nella stessa sezione il valore di ctg deve essere unico e pari ad 1. Il programma prevede l'input diretto di ctg .

Nel caso in cui T_{Rcd} o $TRld$ siano inferiori a T_{Ed} la sezione non è rinforzabile in quanto il rinforzo FRP può incrementare solo il contributo relativo alle staffe, ma non quello delle bielle di calcestruzzo o quello delle barre longitudinali.

Nel caso in cui sia insufficiente il solo il contributo delle staffe il momento torcente addizionale fornito dal rinforzo è:

$$T_{Rd,f} = 1/ R_{d} \cdot 2 \cdot f_{fed} \cdot b \cdot h \cdot w_f / p_f \cdot ctg \quad (4.27)$$

CNR2013

con:

$R_{d} = 1.20$ (coeff. parziale)

f_{fed} = resistenza efficace da valutarsi allo stesso modo in cui è stato mostrato nel caso di rinforzo a taglio in avvolgimento^[124].

w_f = larghezza delle strisce di FRP con cui si avvolge la sezione

p_f = passo strisce FRP (nel caso di strisce applicate in adiacenza o nel caso di fogli il rapporto $w_f/p_f = 1$, cioè basta porre $p_f=w_f$ in input)

In caso di contemporanea presenza nella sezione di un momento torcente agente T_{Ed} e di uno sforzo tagliante V_{Ed} , si prescrive il rispetto della seguente relazione che esprime l'ipotesi di un dominio di interazione lineare (lato conglomerato compresso) tra i due sforzi:

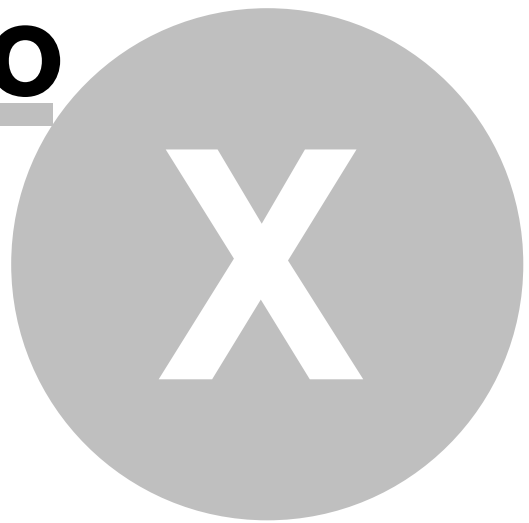
$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$$

Questa verifica va fatta esternamente al programma (manualmente) e presuppone l'utilizzo di un unico valore di $\theta = 45^\circ$ ($ctg \theta = 1$).

Il calcolo del rinforzo a torsione si esegue indipendentemente da quello del rinforzo a taglio. L'area complessiva del rinforzo è, di conseguenza, la somma delle singole aree relative al taglio ed alla torsione.

Stati limite di esercizio (SLE)

Capitolo



10 Stati limite di esercizio (SLE)

Nel programma sono state sviluppate procedure numeriche relative ai seguenti stati di limite di esercizio di più frequente valutazione per le sezioni in c.a.:

- Verifiche delle tensioni normali di esercizio^[136]
- Verifiche di fessurazione^[139]

10.1 Azioni di progetto

Per la valutazione degli stati limite di esercizio le NTC prescrivono (§2.5.3) tre differenti tipi di combinazioni di carico sulla base delle quali effettuare il calcolo degli effetti in esercizio (nelle seguenti formule simboliche non sono riportati i termini relativi alla forza di precompressione):

Combinazioni rare:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} Q_{k2} + \psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

Combinazioni frequenti:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

Combinazioni quasi permanenti:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

essendo :

G_1	il valore caratteristico del peso proprio strutturale
G_2	il valore caratteristico dei carichi permanenti (non strutturali)
Q_{1k}	il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione
Q_{ik}	il valore caratteristico delle azioni variabili tra loro indipendenti
ψ_{0i}	coefficiente per definire azioni variabili con frattile 0,95 dei valori rari delle azioni variabili
ψ_{1i}	coefficiente per definire i valori frequenti delle azioni variabili
ψ_{2i}	coefficiente per definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili

In mancanza di informazioni adeguate le NTC consentono l'attribuzione ai suddetti coefficienti i seguenti valori:

AZIONE	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Carichi variabili nei fabbricati per:			
Uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Uffici e negozi	0,7	0,6	0,3
Autorimesse	0,7	0,7	0,6
Vento, neve	0,7	0,2	0,0

10.2 Tensioni normali in esercizio

In linea generale il calcolo delle tensioni normali in esercizio è alquanto complesso dovendo tenere conto non solo delle combinazioni dei carichi esterni sopra definite, ma anche, se necessario, degli effetti della viscosità, del ritiro, delle variazioni termiche e delle deformazioni impresse di altra origine (cedimenti vincolari, etc.).

Sulla base delle azioni di progetto^[135] rare e quasi permanenti SLE vanno calcolate le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio che devono essere inferiori ai limiti imposti dalle NTC nel § 4.1.2.2.5 ($0.6 f_{ck}$ per la combinazione caratteristica, $0.45 f_{ck}$ per comb. quasi permanenti e $0.80 f_{yk}$ per l'acciaio).

Le Istruzioni NTC nel § C4.1.2.2.5 indicano che qualora si ritenga possibile effettuare un'unica verifica indipendente dal tempo il calcolo può essere effettuato con il metodo n in cui il coeff. di omogeneizzazione n può essere assunto pari a 15.

In ogni caso il calcolo delle tensioni viene svolto nel presupposto di comportamento elastico e di perfetta aderenza di tutti i materiali, nonché di assenza di resistenza a trazione del calcestruzzo nel caso di trazione.

Trattando qui di sezioni rinforzate è necessario calcolare le tensioni in due fasi:

1) Calcolo delle tensioni normali di esercizio presenti all'atto del rinforzo. Vanno anzitutto stimati i carichi (pesi propri ed accidentali) effettivamente presenti prima dell'applicazione dei rinforzi e quindi valutate le corrispondenti sollecitazioni N_0 , Mx_0 , My_0 nella sezione da verificare (da inserire nella scheda di input degli sforzi pre-rinforzo). Il calcolo in questa fase viene svolto in automatico dal programma (che memorizza anche le corrispondenti deformazioni) con il coeff. di omogeneizzazione $n=15$ in quanto può assimilarsi ad una combinazione quasi permanente (di lunga durata).

2) Calcolo delle tensioni normali sulla base delle sollecitazioni finali assegnate (comprendenti le sollecitazioni precedenti il rinforzo). Questo calcolo viene svolto per sovrapposizione degli effetti trascurando la non linearità causata dalla mancanza di resistenza a trazione del calcestruzzo. In questa fase gli sforzi di calcolo sono quindi costituiti dalla differenza tra gli sforzi finali assegnati N , Mx , My e quelli N_0 , Mx_0 , My_0 pre-rinforzo. Poichè in genere nelle sezioni iniziali (pre-rinforzo) si sono quasi del tutto esauriti gli effetti differiti (ritiro e viscosità) non appare corretto utilizzare per questa seconda fase di calcolo il coeff. forfettizzato $n = 15$. Si è preferito quindi utilizzare il metodo EM (Effective Modulus) che consiste nel considerare per ciascun calcestruzzo impiegato un modulo elastico equivalente che tenga conto della viscosità che il calcestruzzo deve ancora sviluppare nell'intervallo di tempo che va dal momento del rinforzo al momento in cui si pensano attive le sollecitazioni assegnate. Si trascura il ritiro in quanto nel caso di calcestruzzo nuovo di rinforzo (ad es. per camicia o solette aggiunte) si utilizzano sempre additivi antiritiro che riducono di molto l'effetto di questa coazione.

Il Modulo elastico equivalente è dato da:

$$E_{c,eff} = E_c / (1 + \varphi)$$

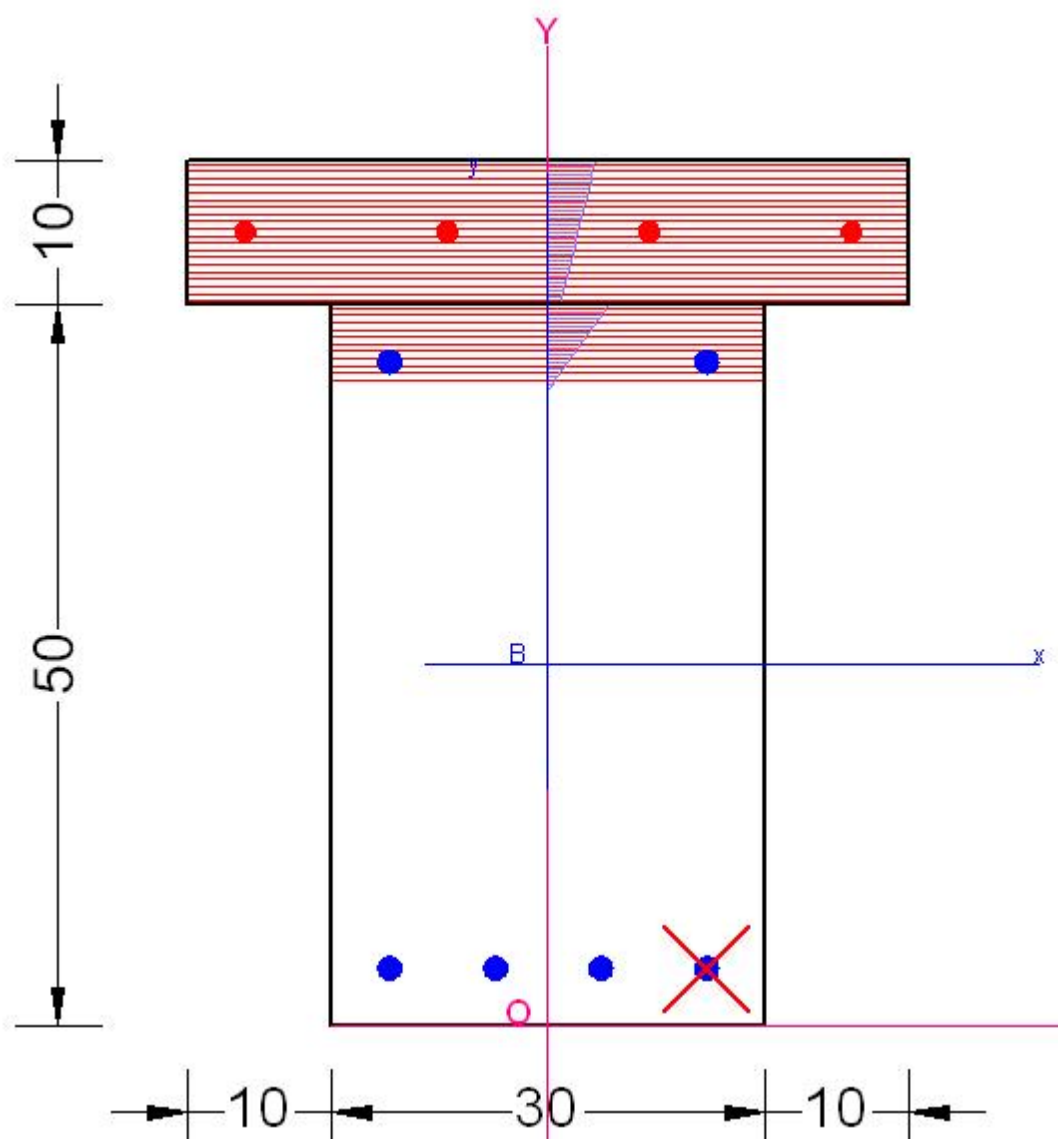
in cui E_c è il modulo medio di elasticità normale e φ è il coefficiente di viscosità assegnato anch'esso nell'archivio materiali^[46] per ognuno dei calcestruzzi inseriti. Volendo assegnare ad esempio un coefficiente di viscosità φ equivalente ad un coeff. di omogeneizzazione n basterà porre:

$$E_{c,eff} = E_c / (1 + \varphi) = E_s / n$$

da cui: $\varphi = E_c / E_s \cdot n - 1$

Per fissare le idee supponiamo di voler calcolare le tensioni a lungo termine (in combinazione quasi permanente) nel caso in cui ad una trave esistente si aggiunga una soletta in ca in zona compressa; al calcestruzzo esistente i cui fenomeni lenti si possono considerare esauriti va assegnato $\varphi=0$ (nell'archivio materiali), mentre al calcestruzzo nuovo della soletta va assegnato (sempre nell'archivio materiali) il valore di φ che si ritiene più opportuno (ad esempio quello corrispondente a $n=15$). In questo modo nel calcolo di seconda fase i moduli elastici dei due calcestruzzi assumeranno valori più vicini al reale comportamento.

Nel caso si voglia, invece, valutare le tensioni istantanee per effetto di un carico variabile raro (combinazione rara) è necessario modificare il valore di φ del nuovo calcestruzzo nell'archivio materiali ponendolo ad esempio nullo o molto piccolo. Da qui la necessità di effettuare differenti calcoli della stessa sezione: uno per ogni tipologia di combinazione SLE di esercizio (dovendo di volta in volta variare il coeff. φ).



La sezione in figura è stata calcolata assegnando alla soletta di calcestruzzo Classe 20/25 un coefficiente di viscosità $\varphi = 1.36$ (equivalente ad $n=15$ per $E_c = 31475$

N/mm^2 e $E_s=200000$), mentre per il calcestruzzo della sezione rettangolare esistente si è posto $\varphi=0$. Il calcolo effettuato in due fasi spiega la circostanza per cui la massima tensione nella vecchia sezione rettangolare (sollecitata da sola nella prima fase pre-rinforzo) risulta maggiore di quella nella soletta.

10.2.1 Verifica tensioni di interfaccia FRP

Questo tipo di verifica SLE va fatto separatamente rispetto a quelle effettuare per le sezioni più sollecitate normalmente oggetto delle altre verifiche SLU ed SLE.

Questa verifica è prescritta dalle CNR2013 soprattutto in presenza di cicli di gelo/disgelo (esposizione esterna).

Alle estremità del rinforzo a flessione in FRP (allo SLE) occorre verificare le tensioni tangenziali di interfaccia per evitare il distacco del rinforzo FRP dal calcestruzzo. Di solito nelle sezioni terminali del rinforzo le sollecitazioni di trazione nell'FRP prodotte dalla flessione sono piccole o nulle e, di solito, in corrispondenza di queste sezioni si dispongono ancoraggi terminali mediante fasciature ad U che riducono ulteriormente il problema. In questa specifica verifica allo SLE è necessario assegnare il valore del taglio incrementale (cioè la quota del taglio successiva all'applicazione del rinforzo) presente insieme al momento flettente di combinazione.

Se la trazione è piccola e sono disposte le suddette fasciature si ritiene la verifica in questione superflua. In caso contrario la verifica può essere eseguita dal programma secondo le regole indicate nelle CNR2013 di seguito riassunte (la verifica è prevista solo per le sezioni predefinite non circolari).

La combinazione SLE da verificare deve essere rara o frequente ed il momento flettente M di verifica deve essere quello presente nella sezione di interruzione del rinforzo: va inoltre assegnato il taglio V in corrispondenza della stessa sezione, nonchè la distanza a tra la sezione e l'estremità della trave. Si deve controllare che la tensione tangenziale "equivalente" $\tau_{b,c}$ sia inferiore alla resistenza di adesione tra rinforzo e calcestruzzo, f_{bd} :

$$\tau_{b,e} \leq f_{bd} \quad (4.8) \text{ CNR2013}$$

con:

$$\tau_{b,e} = k_{id} \cdot \tau_m$$

$$k_{id} = (k_\sigma^{1.5} + 1.15k_\tau^{1.5})^{2/3}$$

$$k_\sigma = k_\tau \cdot t_f$$

$$k_\tau = 1 + M/V$$

$$f_{bd} = k_b \cdot f_{ctk} / \gamma_b$$

$$f_{bd} = 0.21 \cdot (k_b \cdot f_{ctm}) / (\gamma_b \cdot FC) \quad (4.9) \text{ CNR2013}$$

con k_b espresso dalla (4.3) CNR2013 e $\gamma_b = 1.0$ per la comb. rara e 1.2 per quella frequente.

k_σ va posto =0 qualora sia previsto un ancoraggio terminale mediante fasciatura ad U.

Per le formule che forniscono i valori di τ_m e f_{ctk} si rimanda alla normativa di riferimento.

Va qui detto che l'enorme riduzione del valore di f_{bd} operata con la (4.9) CNR2013 rende pressochè impossibile la verifica positiva della (4.8) CNR2013. Sospettiamo la presenza di un refuso nella procedura.

10.3 Ampiezza delle fessure

Il calcolo dell'ampiezza delle fessure essendo prevalentemente rivolto alla tutela della durabilità strutturale, va sempre preliminarmente riferito ad una delle seguenti condizioni ambientali (da selezionare nella scheda dei dati generali^[139]) in cui può trovarsi la struttura:

- Ordinarie, caratterizzate da umidità relativa non elevata o da umidità relativa elevata per brevi periodi.
- Aggressive, caratterizzate da elevata umidità relativa in assenza di vapori corrosivi.
- Molto aggressive, caratterizzate dalla presenza di liquidi o aeriformi particolarmente corrosivi.

La tabella 4.1.III delle NTC indica la corrispondenza tra le suddette tre condizioni e le classi di esposizione definite nelle Linee guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

A seconda del tipo di condizioni ambientali prescelto le norme forniscono i limiti massimi dell'ampiezza delle fessure^[139].

Allo stato attuale delle conoscenze appare opportuno limitare l'apertura (o ampiezza) delle fessure in rapporto all'aggressività dell'ambiente, onde contrastare, unitamente al ricoprimento delle barre di armatura, la corrosione delle stesse.

Oltre alla suddetta esigenza di durabilità, la limitazione dell'entità delle fessure può essere importante per necessità di tipo estetico, o di tenuta stagna (per vasche e serbatoi si può evitare quasi sempre la posa di uno strato impermeabile se si contiene l'ampiezza delle fessure a non più di 0,1 mm).

Non verranno qui esaminati gli stati limite di decompressione e di formazione delle fessure, in quanto essi interessano essenzialmente le strutture precomprese.

Anche se il calcolo diretto dell'apertura delle fessure è poco sicuro dato il carattere altamente aleatorio della fessurazione, le NTC lo richiede espressamente indicando i valori nominali ($w_1=0,2$ mm; $w_2=0,3$ mm; $w_3=0,4$ mm) da non superare in funzione delle condizioni ambientali, della combinazione di carico e della sensibilità delle armature.

Per le armature poco sensibili, quali quelle impiegate nelle strutture in c.a. normale, le NTC fissano i seguenti valori limite all'apertura delle fessure in funzione delle condizioni ambientali e della combinazione delle azioni:

Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Apertura fessure w_m
a - ordinarie	frequente	$\leq w_3$
	quasi permanente	$\leq w_2$
b - aggressive	frequente	$\leq w_2$
	quasi permanente	$\leq w_1$
c - molto aggressive	rara	$\leq w_1$

Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Apertura fessure w_m
	frequente	$\leq w_1$

I prescelti valori nominali non devono essere superati da quelli di calcolo da calcolare nella zona di efficacia delle armature, e forniti dalla:

$$w_d = 1,7 w_m \quad (4.1.14) \text{NTC}$$

in cui:

$$w_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{rm} = \text{valore medio apertura}$$

$$\varepsilon_{sm} = \text{deformazione media delle barre}$$

$$\Delta_{rm} = \text{distanza media tra le fessure}$$

Queste relazioni sono identiche a quelle già note del DM'96 [3^[240]] il cui procedimento di valutazione è dettagliatamente illustrato nella relativa Circolare [4^[240]] del 1997.

Le NTC 2018 specificano che 'per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{rm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati in documenti di comprovata validità'. Il metodo di calcolo utilizzato e che fa riferimento al DM96 è sicuramente un metodo di comprovata validità.

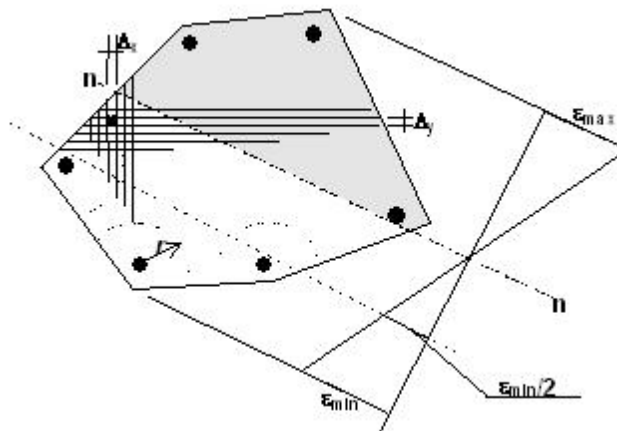
Le NTC consentono la verifica dell'ampiezza delle fessure anche senza calcolo diretto. Utilizzando il presente programma risulta superflua l'utilizzazione di procedimenti semplificati (in questo caso molto più onerosi per il tecnico che voglia eseguirli manualmente).

10.3.1 Procedimento di calcolo

Per le sezioni predefinite il programma esegue il calcolo dell'ampiezza delle fessure con il procedimento descritto nelle Istruzioni al DM96 (Circolare 15 Ottobre 1996 n. 252).

Il calcolo viene svolto in sezione sempre fessurata cioè non si considera (a favore di sicurezza) la resistenza a trazione del calcestruzzo. Nel caso di sezioni costituite da più domini di calcestruzzo (come nel caso di sezioni incamiciate con c.a. o con solette in c.a. aggiunte) il calcolo viene svolto determinando l'apertura delle fessure per ognuno dei domini considerando per ognuno di essi le sole barre di armature in essi ricadenti.

Di seguito si espongono i principali passi seguiti dal programma durante il calcolo.



- Calcolo dell'area efficace $A_{c\text{ eff}}$, cioè dell'area di conglomerato in zona tesa entro cui le singole barre hanno la capacità di influenzare l'apertura delle fessure. Per le sezioni predefinite in sollecitazione retta lo spessore di quest'area è pari a $c + 7,5 \Phi$ in cui c è il copriferro netto delle barre tese di diametro medio Φ ; detto spessore deve comunque essere inferiore a $(h-x)/2$ essendo h l'altezza totale della sezione ed x l'altezza della zona compressa (in assenza di zona compressa si assume $h/2$). Nel caso di sezioni generiche in presso-tenso flessione deviata, in accordo con la Circolare [4^[240]], si ritiene che per la singola barra l'area efficace abbia forma circolare con raggio r pari a 7 volte il diametro della barra. Per il calcolo di $A_{c\text{ eff}}$ si fa sempre riferimento all'analisi della sezione nello *stato 2* (sezione interamente fessurata). Per ognuno dei domini di conglomerato si effettua una discretizzazione (v. figura) in areole di forma pressoché quadrata e lati (Dx , Dy) sufficientemente piccoli in relazione alle dimensioni della sezione (in programma entrambi i lati sono posti pari alla mesh di discretizzazione della sezione settabile nelle opzioni). Passando in rassegna tutte le areole, vengono sommate (a costituire l'area efficace $A_{c\text{ eff}}$) solo quelle col proprio baricentro ricadente in una delle aree d'influenza circolari delle barre ed escludendo, prudenzialmente, le areole molto vicine all'asse neutro (nel programma sono escluse quelle con deformazione $> s_{\text{min}}/2$). Solo l'area delle barre tese con $< s_{\text{min}}/2$, vengono quindi sommate a costituire l'area di acciaio, denominata in seguito A_s , compresa nell'area efficace del calcestruzzo.
- Calcolo della distanza media s_{rm} fra le fessure riferita al baricentro delle barre al lembo teso della sezione predefinita. Nel caso di sezioni in presso-tensoflessione deviata (come quella in figura) si assume s_{rm} con riferimento alla sola barra più tesa (a favore di sicurezza). Si utilizza la seguente relazione sperimentale (v. Circolare [4^[240]]):

$$s_{\text{rm}} = 2(c + s / 10) + K_2 K_3 \Phi / \rho_r$$

in cui:

c = ricoprimento dell'armatura (copriferro netto delle barre longitudinali)

Φ = diametro medio delle barre comprese nell'area efficace come sopra individuata

s = dist. min. tra la barra più tesa e le altre ($s \leq 14 \Phi$)

K_2 = 0,4 per barre ad aderenza migliorata / 0,8 per barre lisce (opzione da settare nella finestra delle Opzioni armature^[52])

K_3 = 0,125 (con flessione semplice o pressoflessione)

= 0,250 (con trazione pura)

= 0,25 [(s_1+s_2)/ $2s_1$] per trazione eccentrica (cioè se tutta la sezione è tesa)

o nel caso in cui si consideri solo una parte della sezione; le tensioni limite

σ_1, σ_2 sono ricavate nello stato 1 (sezione omogenea non fessurata). Cioè è

possibile utilizzare quest'ultima formula anche in flessione semplice o

pressoflessione assumendo come tensione di trazione σ_2 (minore in valore

assoluto) quella in corrispondenza della fibra estrema dell'area efficace.

E' possibile scegliere tra le due opzioni mediante l'apposita casella di scelta nella scheda dei dati generali^[13] della sezione.

ρ_r = $A_s / A_{c\text{ eff}}$ = aliquota delle barre tese ricadenti nell'area efficace sopra definita.

- Calcolo della deformazione unitaria media ε_{sm} in corrispondenza all'altezza delle barre tese (o della barra più tesa nel caso di sollecitazione biassiale), tenendo conto dell'effetto irrigidente del calcestruzzo teso (tension stiffening), mediante la seguente relazione:

$$\varepsilon_{sm} = \zeta \cdot \sigma_s / E_s$$

dove :

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_{s2} = \text{trazione nella barra pi\`u tesa nello stato 2 (fessurato)}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{f_{cfm}}{\sigma_{t \max}} \right)^2 \geq 0,4 \quad (1)$$

in cui:

f_{cfm} = resistenza media a trazione per flessione del cls. Nel programma viene assunta uguale a f_{ctm} (prudenzialmente)

$\sigma_{t \max}$ = massima tensione di trazione calcolata nel cls. nell'ipotesi di sezione non parzializzata

β_1 = coeff. che tiene conto dell'aderenza acciaio-calcestruzzo e vale:
1,0 per barre ad aderenza migliorata
0,5 per barre lisce

β_2 = coeff. che tiene conto del fluage di aderenza e vale:
1,0 per carichi di breve durata (istantanei)
0,5 per carichi di lunga durata o ripetuti

Il programma utilizza direttamente i prodotti $\beta_1 \beta_2$ assegnati tra i dati dell'acciaio nell'archivio materiali^[46] rispettivamente per sollecitazioni iniziali (prima applicazione dei carichi) e sollecitazioni finali. Per il calcolo dell'apertura delle fessure il programma assume automaticamente il secondo valore per le combinazioni frequenti e quasi permanenti essendo queste le combinazioni per le quali \u00e8 prescritto questo calcolo (§4.1.2.2.4.1 NTC).

Un discorso a s\u00e9 merita il coefficiente di interpolazione ζ che rappresenta l'influenza del calcestruzzo teso compreso tra le fessure (*tension stiffening*) alla deformazione dell'acciaio. Considerando un tronco unitario di trave sottoposto ad un momento flettente di calcolo M di entit\u00e0 maggiore di quello M_{sr} che produce la prima fessurazione della sezione, si pu\u00f2 scrivere la deformazione media dell'acciaio in zona fessurata (analogamente a qualsiasi altra grandezza di deformazione come ad esempio la curvatura [vedi al riguardo la relazione C4.1.11 del §C.4.1.2.2.2 della Circolare 2009]):

$$\varepsilon_{sm} = (1 - \zeta) \varepsilon_{s1} + \zeta \varepsilon_{s2} \quad (2)$$

in cui ε_{s1} \u00e8 la deformazione unitaria in sezione interamente reagente (stato 1), ε_{s2} \u00e8 quella a sezione interamente fessurata (stato 2), ζ \u00e8 il coefficiente di interpolazione che esprime la frazione di deformazione attribuibile alle sole sezioni fessurate nel tratto di lunghezza unitaria considerato.

Il valore di ζ \u00e8 dedotto dall'evidenza sperimentale viene valutato dal programma mediante la (1) che sembra differente dal valore indicato nelle Istruzioni 2009^[240] :

$$\zeta = 1 - c (M_f/M)^2 \quad (C4.1.12)$$

in cui c corrisponde in pratica al prodotto $\sigma_1 \cdot \sigma_2$. Il rapporto tra il momento M_f di fessurazione e quello di calcolo M in realtà è uguale al rapporto tra le corrispondenti tensioni indicato nella (1) in quanto nella sezione inflessa non parzializzata l'asse neutro non varia con il momento flettente e , quindi, il rapporto tra le tensioni dell'acciaio che compare nella (1) è uguale al rapporto dei corrispondenti momenti flettenti (stante la linearità del comportamento elastico del calcestruzzo e dell'acciaio ipotizzata nell'ambito degli stati limite di esercizio). Inoltre la (1) vale anche nel caso di trazione pura senza bisogno di sostituire il rapporto M_f / M con N_f / N come invece necessario con la C4.1.12.

Nel caso di contemporanea presenza di momento flettente ed azione assiale nella sezione, si può facilmente estendere lo stesso ragionamento se si ipotizza, per semplicità e senza grosso errore, che l'asse neutro della sezione fessurata non si sposti passando dal momento di prima fessurazione a quello di calcolo. Ciò che a rigore vale solo se l'eccentricità M/N resta costante al variare di M .

10.3.2 Calcolo in presenza di FRP

Il procedimento per il calcolo dell'ampiezza delle fessure, esposto nel precedente paragrafo, non contempla la presenza di tessuti o lamine FRP come rinforzo a flessione nelle zone tese della sezione. Le CNR2013 al riguardo non forniscono indicazioni specifiche ma dicono che è possibile adottare formulazioni di comprovata validità, purchè supportate da adeguate sperimentazioni. L'evidenza sperimentale dimostra che le membrature placcate con FRP presentano, in genere, fessure di ampiezza inferiore anche se più ravvicinate.

Nella letteratura tecnica non è stato possibile reperire una formulazione di comprovata validità sperimentale per cui si è scelta la via di una valutazione prudenziale dell'efficacia della presenza di FRP nel calcolo dell'apertura delle fessure.

Scopo di tale valutazione è quella di determinare un'area di FRP equivalente (ricadente in zona tesa efficace) da sommare a quella delle barre in acciaio nella determinazione dell'area tesa (in zona efficace) A_s che compare nella precedente trattazione.

La differenza di comportamento tra barre in acciaio e FRP consiste principalmente nella differente qualità dell'aderenza al calcestruzzo. L'aderenza è in ogni caso proporzionale al modulo elastico normale, alla superficie di contatto tra acciaio (o FRP) e calcestruzzo e alla resistenza a trazione del calcestruzzo stesso.

Assunta detta proporzionalità dell'aderenza pari a $1.25 \cdot f_{ctm}$ per l'FRP e $1.80 \cdot f_{ctm}$ per l'acciaio in barre, è possibile definire un coefficiente di omogeneizzazione dell'FRP all'acciaio:

$$n_{FRP} = (E_f \cdot U_{frp} \cdot 1.25 \cdot f_{ctm}) / (E_s \cdot U_s \cdot 1.8 \cdot f_{ctm}) = 0.695 (E_f \cdot U_{frp}) / (E_s \cdot U_s)$$

in cui U_{frp} , U_s sono i perimetri di contatto con il calcestruzzo dell'FRP e delle barre in acciaio (in zona tesa efficace).

Esempi di calcolo

Capitolo



XI

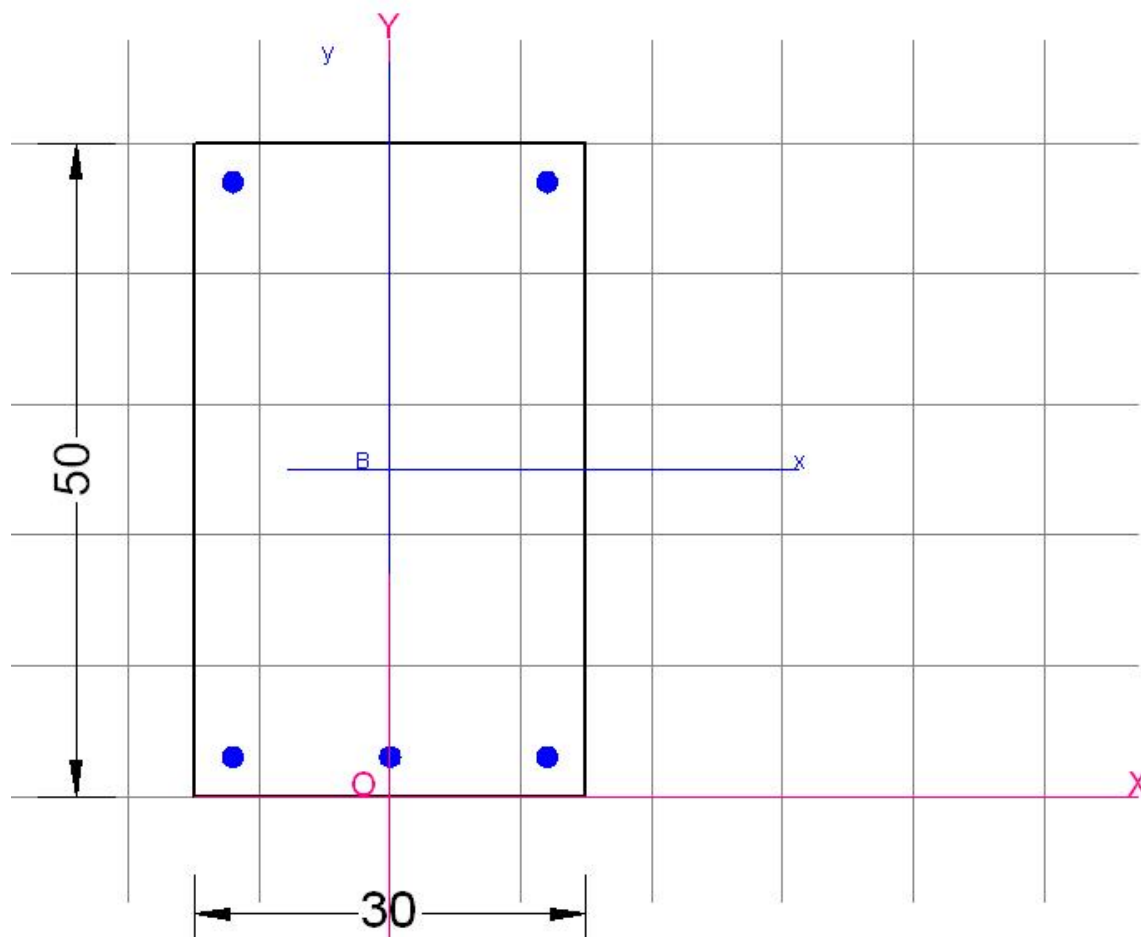
11 Esempi di calcolo

Gli esempi che seguono sono tutti presenti nella cartella “\ESEMPI” della directory di installazione del programma. Essi verranno illustrati sia in relazione alla modalità di immissione dei dati, sia confrontando i risultati ottenuti sulla base degli algoritmi assunti nel calcolo con quelli riportati da altri autori e/o programmi.

Le stampe complete di input ed output relative a tutti gli esempi sono naturalmente riproducibili caricando detti files di esempio e mandando in esecuzione il programma.

La maggior parte degli esempi sono tratti dal volume [8]^[240]. In questo volume gli esempi con FRP sono stati svolti secondo le Linee Guida del 2009 mentre il presente programma ha utilizzato le CNR-DT 200 2013. I risultati sono piuttosto simili anche se non sovrapponibili.

11.1 Esempio 1



La sezione rettangolare della trave in figura è tratta da [8]^[240] §5.7] ed è stata calcolata con le Linee Guida 2009 [6]^[240]. Il calcolo viene invece effettuato in base alle CNR2013 e presenta alcune differenze nei risultati.

La sezione è stata rinforzata a flessione con tessuto CRFP a causa di un cambiamento d'uso. Le nuove sollecitazioni SLU cui la sezione sarà sottoposta, riferite al baricentro della sezione di solo calcestruzzo, sono:

$$N_{Ed} = 10 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 112 \text{ kNm}$$

L'armatura è costituita da 5 barre Φ 16 con copriferro (dal baricentro delle armature) pari a 3 cm.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente (fattore di confidenza $FC=1,2$):

$$f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_c \cdot FC) = 10.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 29300.0 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{dalla formula (11.2.5)NTC}]$$

$$f_{ctm} = 2.06 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:

$$f_{yk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Sistema preformato. Fattore di conversione η_A (§3.5.1 CNR2013) = 0.950

Coeff. parziale per rottura [§3.4.1] = 1.10

Coeff. parziale per distacco [§3.4.1] = 1.20

Modalità SLU di distacco (intermedia §4.1.4 CNR2013) Modo 2

$E_f = 189000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore.

$f_{fk} = 2880.0 \text{ N/mm}^2$ = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore.

$b_{f,1} = 16 \text{ cm}$ = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$t_{f,1} = 0.130 \text{ mm}$ spessore di uno strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore (spessore equivalente)

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali [13](#):

Tipo di sezione: Predefinita (trattandosi di flessione retta di sezione rettangolare)

Posizione sezione: sezione intermedia (caratterizzata dalla modalità 2 di delaminazione ipotizzata)

Percorso di sollecitazione: $N = \text{costante}$. E' il valore di default che solo raramente va modificato (ad es. per pilastri con piccolissima eccentricità dello sforzo normale)

Gli altri dati di questa scheda possono essere lasciati invariati in quanto non intervengono nel presente calcolo

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali [46](#) (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito pulsante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione:

griglia dati Calcestruzzi: trattandosi di calcestruzzo esistente i relativi parametri di calcolo vanno inseriti manualmente nella prima riga della griglia modificando i dati preesistenti:

Classe cls: fck18 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo esistente utilizzato nel calcolo corrente - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")

$f_{ck,cubi}$: $18.0/0.83 = 21.6 \text{ N/mm}^2$ viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

E_{cm} = Modulo elastico cls: 29300.0 N/mm^2 (dato ricavato a mano sulla base di f_{ck})

$f_{cm} = 26.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato sulla base delle prove effettuate)

$FC = 1.2$ (fattore di confidenza assegnato in base alla completezza delle indagini)

$f_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato calcolato in base al numero di prove effettuato)

$f_{cd} = 10.2 \text{ N/mm}^2$ (dato automaticamente dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente)

$f_{ctd} = 0.96 \text{ N/mm}^2$ (dato automaticamente dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente)

$f_{ctm} = 2.06 \text{ N/mm}^2$ (dato automaticamente dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente)

Gli altri dati compresi nella riga di input (del calcestruzzo che si sta modificando) non interessano il presente calcolo per cui non è necessario modificarli

griglia acciai: trattandosi acciaio preesistente i relativi dati di calcolo vanno inseriti manualmente nella prima riga della griglia:

Nome acciaio: Feb38k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciaio esistente)

$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico dell'acciaio

$f_{yk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato ed utilizzato dal programma anche nel calcolo di duttilità)

$f_{tk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$ (valore caratteristico a rottura: si ipotizza una legge tensioni-deformazioni bilineare non incrudente; questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità)

$f_{td} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo: si ipotizza un pianerottolo non incrudente per il ramo plastico dell'acciaio)

$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (dato dedotto automaticamente dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente: $f_{yd} = f_{yk}/FC$ ed utilizzato per il calcolo di resistenza)

$\epsilon_{pk} = \epsilon_{uk} = 0.04$ = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)

$\epsilon_{pd_ult} = \epsilon_{ud} = 0.036$ = deformazione a rottura di calcolo (posta pari a $0.9 \epsilon_{ud}$ come da §4.2.1.2.2.3 NTC)

griglia FRP: si modifica la prima riga con i dati correnti (oppure si scrivono i dati su una nuova riga)

Nome rinforzo: CFRP_1

Tipo Sistema: Preformato (assegnata)

$E_f = 189000.0 \text{ N/mm}^2$ (assegnato)

$\epsilon_{fa} = \epsilon_a = 0.95$ (assegnato)

$\epsilon_{fi} = \epsilon_i$ Fattore di conversione ambientale per carichi SLE: non interessa questo calcolo e quindi può essere lasciato il valore già presente

Largh = 160 mm = larghezza singolo tessuto CFRP (assegnato)

Spess. = 0.130 mm spessore singolo strato CFRP (assegnato)

i restanti dati della riga non interessano il presente calcolo e possono essere lasciati immutati

Definizione dati sezione iniziale

Chiuso l'archivio materiali si passa alla scheda Dati sezione iniziale⁽¹⁵⁾ in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo ed acciaio.

La finestra compilata ha il seguente aspetto (si notino le caselle di scelta del tipo di calcestruzzo ed acciaio corrispondenti ai nomi dei materiali assegnati nell'archivio materiali):

The screenshot shows the 'Sez.Iniz.' (Initial Section) tab of a software interface. The interface is divided into several sections:

- Sezione predefinita iniziale**: Contains a checkbox for 'Sezione Precompressa' (unchecked), a dropdown menu set to 'Rettangolare', and another dropdown menu set to 'fck180'.
- Dati sezione calcestruzzo (in cm)**: Contains input fields for width 'B' (30) and height 'H' (50).
- Armature lente**: Contains a dropdown menu set to 'Feb38k', and two input fields for the number of bars, both set to '3', with the label 'C.ferr' next to each.
- Barre Inferiori**: Contains input fields for the number of bars (n°) set to '3' and diameter (Ø mm) set to '16', and another set of fields for n° set to '0' and Ø mm set to '0'.
- Barre Superiori**: Contains input fields for the number of bars (n°) set to '2' and diameter (Ø mm) set to '16', and another set of fields for n° set to '0' and Ø mm set to '0'.
- Staffe**: Contains radio buttons for '1 Staffa chiusa' (selected) and '2 Staffe chiusa', a checkbox for 'Braccio intermedio' (unchecked), and a checkbox for 'Senza Staffe' (unchecked). Below these are input fields for 'Diam. (mm)' set to '8' and 'Passo (cm)' set to '15.0'.

Input rinforzi

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Rinforzi FRP longitudinali a flessione

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

	N° Strisce	N° Strati
Rinforzo Inferiore	1	3
Rinforzo Superiore		

Tipo di delaminazione FRP

Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)

Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio

Nessun rinforzo

Disposizione ad U

Disposizione avvolgente

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

Una volta scelta la sottoscheda Tessuti/Lamine FRP basta selezionare il rinforzo (CFRP_1) assegnato nell'archivio, il numero di strisce affiancate disposte (1 sola) ed il numero di strati (3 in questo caso). Naturalmente si inizia ad assegnare un solo strato e se non verifica si incrementano gli strati fino a verifica (non è opportuno superare mai i 5 strati anche perchè le resistenze alla delaminazione diminuiscono all'aumentare del numero di strati). Qui è stato necessario, prima di ottenere la verifica positiva, arrivare a 3 strati.

Input Sforzi

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] 0.00 Mx [kNm] 32.00

Tipo di combinazione

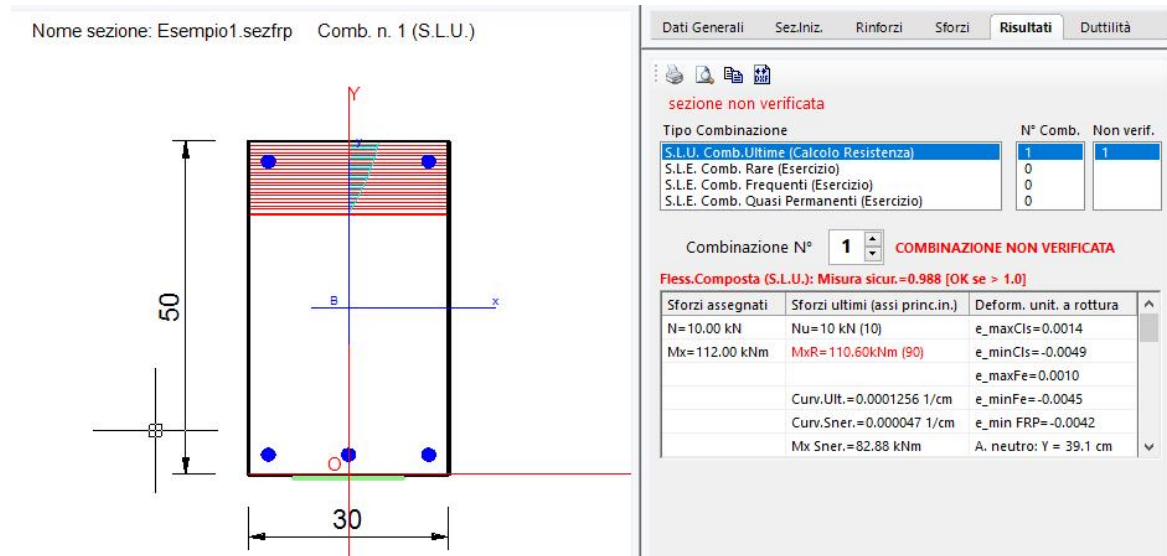
Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	0

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	10.00	112.00	0.00
2			

Oltre agli sforzi finali assegnati (SLU) sono stati inseriti gli sforzi di esercizio presenti prima dell'effettuazione del rinforzo (non indicati nel testo da cui è tratto il presente esempio). Si noti che gli sforzi condizionano, seppure leggermente, i risultati in quanto la deformazione a rottura del rinforzo viene ridotta della deformazione presente (all'altezza della fibra su cui viene posto il rinforzo) prima del rinforzo.

Risultati



Gran parte dei risultati compaiono in questa finestra dei risultati, selezionabili per singola combinazione di carico. Si noti come accanto al momento resistente della sezione rinforzata sia riportato tra parentesi il momento della sezione priva di rinforzo. Nel citato testo da cui è tratto questo esempio il momento resistente calcolato dopo il rinforzo con le Linee Guida del 2009 della sezione rinforzata è di 112.25 kNm mentre il risultato ottenuto con il programma che utilizza le CNR 2013 è inferiore e pari a 110.60 kNm in quanto le CNR2013 risultano più conservative a causa del minore valore concesso alla deformazione ultima del CFRP.

Per un esame più approfondito dei risultati (unitamente ad i dati di input) è possibile effettuare (tramite apposito pulsante nel pannello delle schede) la stampa completa che di seguito si riporta:

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio1.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio1.sezfrp)

Descrizione Sezione:

Tipologia sezione: Sezione predefinita di trave
 Forma della sezione: Rettangolare
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
 Riferimento alla duttilità: Deformazione materiali fino a rottura
 Posizione sezione nell'asta: In zona intermedia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione calcestruzzo sezione esistente:	fck180
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.20
	Resistenza media a compressione fcm:	26.00 N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	18.00 N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd=fcm/(FC*1.5):	10.20 N/mm ²
	Deform. unitaria alla massima resistenza:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico secante Ecm:	29300.0 N/mm ²

	Resist. media a trazione f_{ctm} :	2.06	N/mm ²
ACCIAIO -	Tipo barre sezione esistente:	Feb38k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza caratteristica a snervamento = f_{ym} :	375.0	N/mm ²
	Resistenza media a snervamento:	375.0	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto $f_{yd} = f_{ym} / (FC * 1.15)$:	326.0	N/mm ²
	Rapporti $f_{tk} / f_{yk} = f_{tm} / f_{yk}$:	1.00	
	Resist. caratteristica a rottura di progetto f_{td} :	326.0	N/mm ²
	Deform. a rottura di progetto E_{pu} :	0.036	
	Modulo Elastico E_s :	200000.0	N/mm ²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
FRP -	In tessuto o lamine per RINFORZO a FLESSIONE:	CFRP_1	
	Calcolo svolto secondo CNR-DT 200 R1/2013		
	Sistema preformato. Fattore di conversione η_A (§3.5.1 CNR2013)	0.950	
	Modulo elastico E_f rinforzo (§2.2.1 CNR2013):	189000.0	N/mm ²
	Resistenza caratteristica a rottura f_{fk} del rinforzo:	2880.0	N/mm ²
	Deformazione caratteristica a rottura rinforzo $e_{fk} = f_{fk} / E_f$	0.0152	
	Coeff. parziale per rottura [§3.4.1]	1.10	
	Coeff. parziale per distacco [§3.4.1]	1.20	
	Modalità SLU di distacco (intermedia §4.1.4 CNR2013)	Modo 2	
	Tensione di delaminazione intradosso di progetto f_{fd}	800.9	N/mm ²
	Deformazione intradosso a rottura di progetto e_{p_fd} [(4.14)CNR2013]	0.0042	
	Lunghezza ottimale di ancoraggio intradosso L_e [(4.1)CNR2013]	200	mm
	Numero strisce tessuto / Numero strati Intradosso Sezione	1 / 3	
	Larghezza singola striscia tessuto (o lamina)	160	mm
	Spessore equivalente singolo strato tessuto/lamina [(2.8)CNR2013]	0.13	mm

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Base:	30.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	3Ø16	(6.0 cm ²)
Barre superiori:	2Ø16	(4.0 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	3.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	3.0	cm
Diametro Staffe:	8	mm
Passo Staffe:	15	cm
N. Bracci Staffa:	2	

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico (+ se di compressione):	0.00
Momento fl. M_x [kNm] preesistente (+ se comprime le fibre superiori):	32.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Sforzo normale finale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
M_x	Coppia concentrata finale [kN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo o se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
V_y	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
N°Comb.	N M_x V_y

1 10.00 112.00 0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] (positivo se tende le fibre inferiori)
 N ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compressione)
 M ult Momento flettente ultimo[kNm] (tra parentesi valore pre-rinforzo iniziale)
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
 M sn. Momento flettente allo snervamento dell'acciaio [kNm]

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn
1	N	10.00	112.00	10.00	110.60 (90.03)	0.988	39.1	82.88 1)

1) Combinazione non verificata a flessione composta (Momento di progetto > Multimo)

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 eFRPmin Deform. unit. minima FRP (negativa se di trazione)
 yFRPmin Ordinata in cm della lamina con eFRP min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min	eFRPmin	yFRPmin
1	0.00137	50.0	0.00099	47.0	-0.00453	3.0	-0.00424	0.0

Da quest'ultima riga si può dedurre che la rottura della sezione è dovuta al CFRP che raggiunge la sua deformazione massima a rottura -0.00453 mentre calcestruzzo ed acciaio sono ancora lontani dalle rispettive deformazioni di rottura.

DOMINI DI RESISTENZA

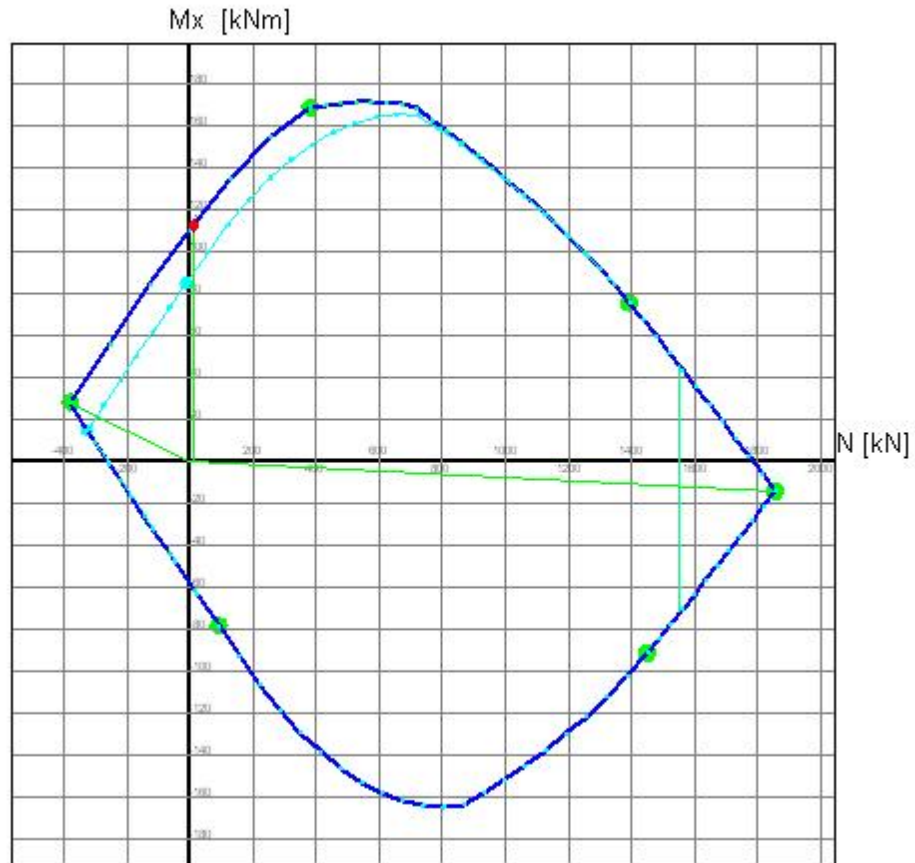
Nella stessa finestra dei risultati è immediatamente possibile visualizzare i domini di resistenza sovrapposti della sezione rinforzata e della stessa sezione nelle condizioni iniziali (diagramma interno color ciano).

Negli stessi domini vengono inseriti i punti corrispondenti alle varie sollecitazioni assegnate e le corrispondenti sollecitazioni a rottura (pallino rosso).

DOMINI N-Mx SLU (Sez. Iniziale + Sez. Rinforzata)

Nome Sezione: Esempio1.sezfrp

Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\VB98\RC_SEC_FRP_NEW\ESBMP\Esempio1.sezfrp

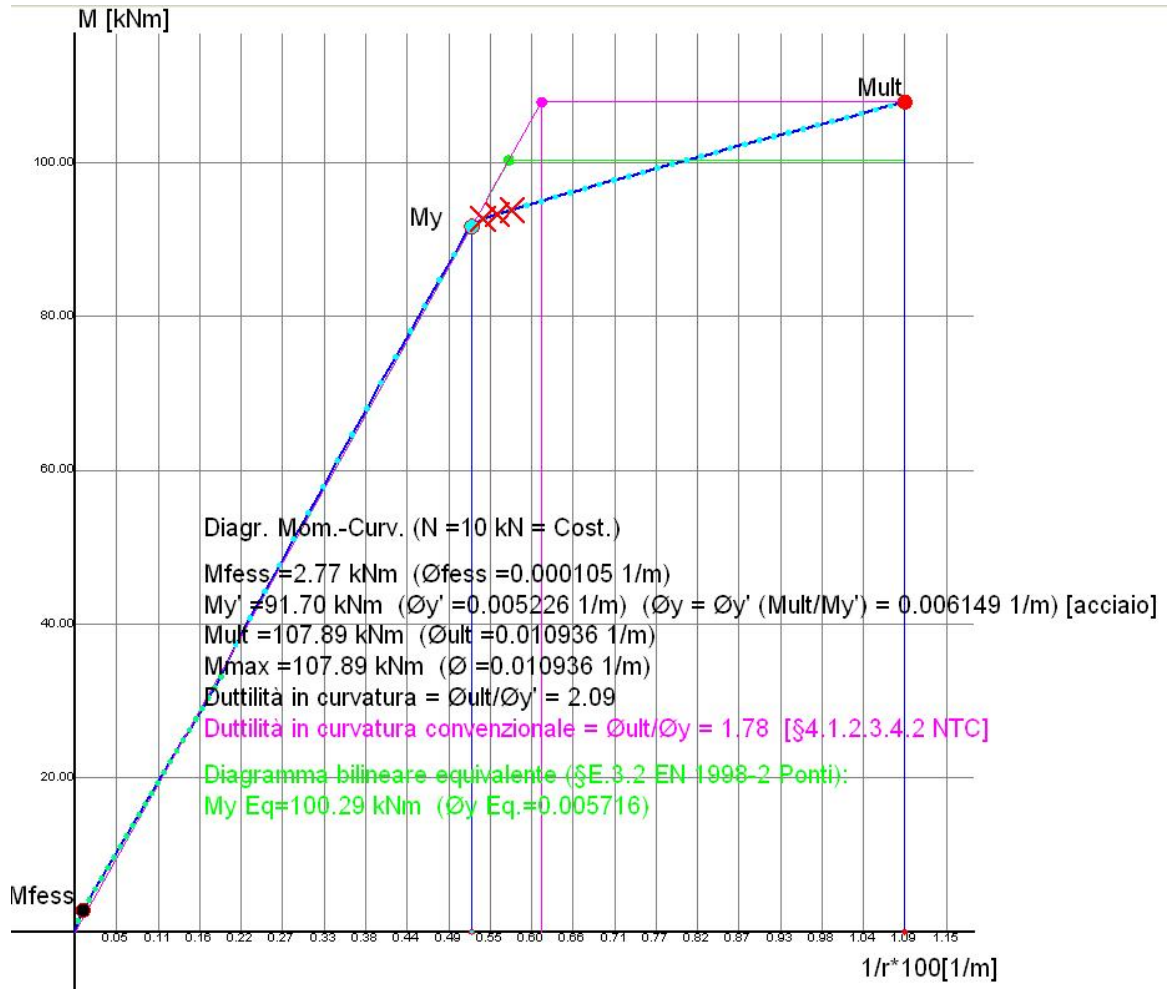


Passo Momenti Mx griglia = 20 kNm

Passo Sforzo Normale N = 200 kN

DUTTILITA' DELLA SEZIONE RINFORZATA

Il comportamento non duttile bensì elastico del rinforzo FRP a flessione riduce moltissimo la duttilità complessiva della sezione. Selezionando l'ultima scheda Staffe-Duttilità si ottiene infatti il seguente diagramma momenti-curvature della sezione rinforzata e, per confronto, anche quello della sezione non rinforzata.

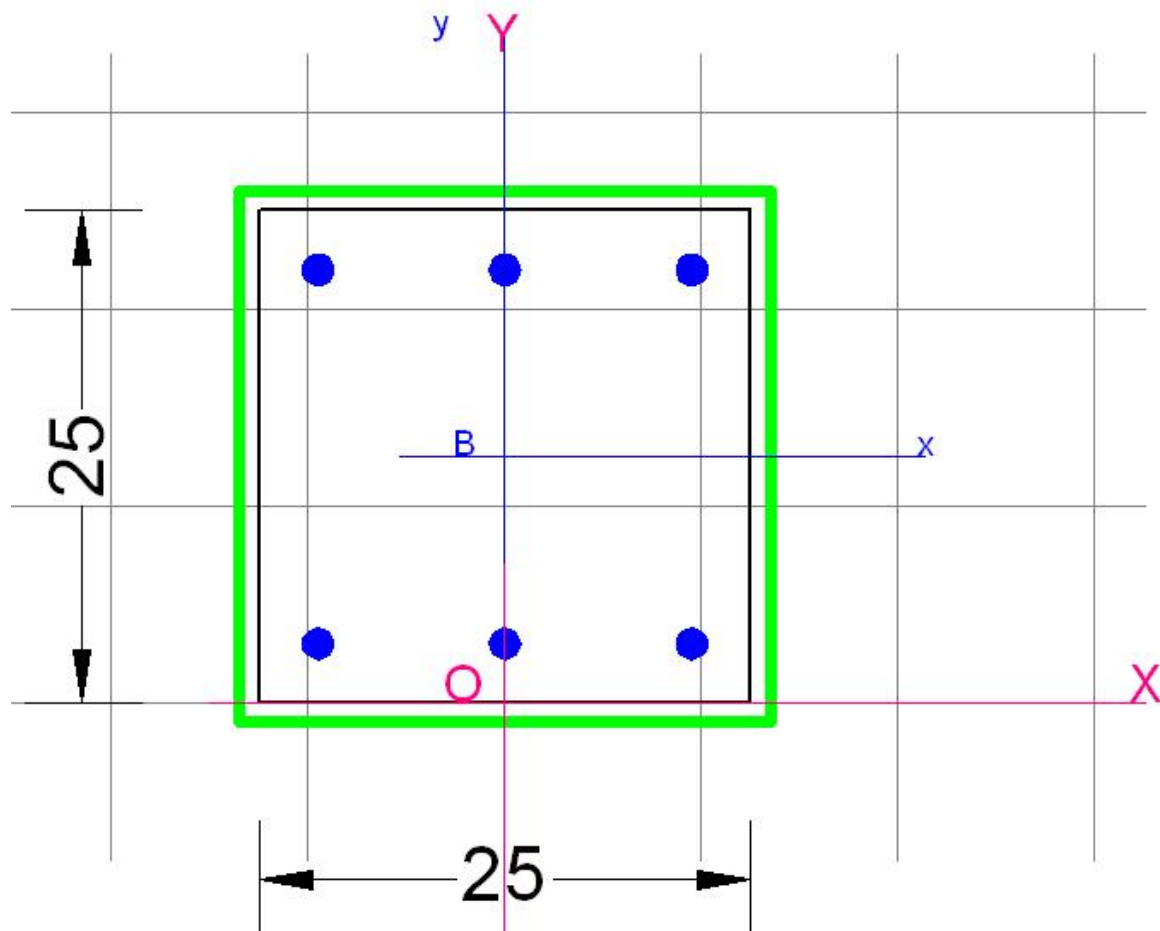


La duttilità in curvatura della sezione rinforzata misura appena $\mu_{\phi} = \phi_u/\phi_y = 1.78$ a fronte di una duttilità pari a 15.45 della sezione non rinforzata.

In conclusione il rinforzo a flessione con FRP di travi e pilastri appare dubbio per la notevole perdita di duttilità che comporta, specie se l'intervento ha carattere di miglioramento sismico.

Un parziale miglioramento della duttilità per i pilastri rinforzati a flessione potrebbe essere conseguito dal confinamento mediante fasciatura trasversale con FRP.

11.2 Esempio 2



Questo esempio tratto da [8]^[240] §8.8) riguarda il confinamento con FRP di un pilastro prevalentemente compresso [cfr. §4.5.1 CNR2013] ed armato con 6Φ16. Si intende verificare tale pilastro per i seguenti sforzi:

$$N_{ed} = 1050.00 \text{ kN}; M_{Ed} = 0 \text{ kNm.}$$

In assenza di confinamento l'applicazione della C4.1.13 NTC per pilastri con trascurabile eccentricità porterebbe ad una resistenza $N_{Rc} = 0,8 A_c f_{cd} + A_s f_{yd} = 0,8 \cdot 625 \cdot 8.5 + 12 \cdot 273.9 = 753.70 \text{ kN}$ rispetto a quella richiesta di 1050.00 kN. In caso di confinamento con FRP le CNR2013 prevedono (per pilastri prevalentemente compressi) il seguente valore per lo sforzo normale massimo (con $\gamma_{Rd}=1.10 =$ coeff. parziale per il calcestruzzo confinato):

$$N_{Rcc,d} = 1/\gamma_{Rd} \cdot A_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd} \quad (4.30) \text{ CNR2013}$$

Il programma non prevede l'applicazione della semplice formula (4.30) CNR2013 ma opera sempre in presso flessione nell'ambito del dominio di resistenza.

Per raggiungere lo sforzo normale ipotizzato si prevede di confinare il pilastro mediante fasciatura discontinua con tessuto CFRP.

L'armatura esistente è costituita da 6 barre $\Phi 16$ disposte come in figura con copriferro (dal baricentro delle barre) pari a 3 cm.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente:

$f_{cd} = 8.5 \text{ N/mm}^2$ (ricavato da $f_{cm} = 17.2 \text{ N/mm}^2$ ottenuto dalla media delle prove diviso per il fattore di confidenza $FC = 1,35$ e per il fattore parziale $\gamma_c = 1.5$ del calcestruzzo)

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:

$f_{ym} = 315.0 \text{ N/mm}^2$

$FC = 1.0$

$f_{yd} = 273.9 \text{ N/mm}^2$

$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Tipo di tessuto: Preformato

Tipo di delaminazione: non interessa in presenza di solo confinamento

$\alpha_a = 0.95$ = Fattore di conversione ambientale

$E_f = 189000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore

$f_{fk} = 28800 \text{ N/mm}^2$ = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore

$b_{f,l} = 25 \text{ cm}$ = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$pf = 37.5 \text{ cm}$ = interasse tra due fasciature consecutive

$t_{f,l} = 0.130 \text{ mm}$ spessore di un singolo strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali^[13]:

Tipo di sezione: Sezione rettangolare di Pilastro

Posizione sezione: sezione intermedia (dato non cogente in questa specifica applicazione)

Percorso di sollecitazione: $M/N = \text{ecc.} = \text{costante}$. Questo percorso va usato in genere solo per questo tipo di applicazione (per pilastri con piccolissima eccentricità)

Gli altri dati di questa scheda possono essere lasciati invariati in quanto non intervengono nel presente calcolo

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali^[46] (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito plusante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione:

griglia dati Calcestruzzi: si può definire un nuovo tipo di calcestruzzo o modificare uno già definito nella griglia. Trattandosi del calcestruzzo esistente vanno modificati i dati del calcestruzzo della prima riga della griglia:

Classe cls: fck15 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo utilizzato in questo calcolo - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")

fck,cubi: $15.0/0.83 = 18.0 \text{ N/mm}^2$ viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

Modulo elastico cls: 28240.0 N/mm^2 (non interviene nella presente applicazione)

$f_{cm} = 17.2 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$FC = 1.35$

$f_{cd} = 8.5 \text{ N/mm}^2$ (dato dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati)

$f_{ctd} = 8.5$ (non interviene in questa applicazione)

$f_{ctm} = 1.82 \text{ N/mm}^2$ (non interviene in questa applicazione)

Gli altri dati compresi nella riga di input (del calcestruzzo che si sta modificando) non interessano il presente calcolo per cui non è necessario modificarli

griglia acciai: trattandosi anche qui di un acciaio esistente vanno modificati i dati della prima riga (primo tipo di acciaio = acciaio esistente)

Nome acciaio: Feb32k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciaio esistente)

$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico dell'acciaio

$f_{ym} = 315.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato in base alle prove e agli altri dati di conoscenza)

FC = 1.0 (fattore di confidenza assegnato)

$f_{yd} = 273.9 \text{ N/mm}^2$ (dato dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati a f_{ym} e FC ed utilizzato per il calcolo di resistenza)

$f_{tk} = 315.0 \text{ N/mm}^2$ (valore caratteristico a rottura: questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità non previsto in questa applicazione)

$f_{td} = 273.9 \text{ N/mm}^2$ (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo. Valore non utilizzato in questa applicazione)

$\epsilon_{pk} = \epsilon_{uk} = 0.04$ = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)

$\epsilon_{pd_ult} = \epsilon_{ud} = 0.036$ = deformazione a rottura di calcolo (posta pari a $0.9 \epsilon_{ud}$ come da §4.2.1.2.2.3 NTC)

griglia FRP: si modifica la prima riga con i dati correnti (oppure si scrivono i dati su una nuova riga)

Nome rinforzo: CFRP_1

Tipo Applicazione: Tipo A (assegnata)

$E_f = 189000.0 \text{ N/mm}^2$ (assegnato)

$E_{ta} = \epsilon_a = 0.95$ (assegnato)

$E_{taI} = \epsilon_I$ Fattore di conversione ambientale per carichi SLE: non interessa questo calcolo e quindi può essere lasciato il valore già presente

Largh = 16 cm = larghezza singolo tessuto CFRP (assegnato)

Spess. = 0.130 mm spessore singolo strato CFRP (assegnato)

i restanti dati della riga non interessano il presente calcolo e possono essere lasciati immutati

Definizione dati sezione iniziale

Dopo aver definito la sezione nella scheda dei Dati generali^[13] come appartenente a pilastro rettangolare (o circolare), si passa alla scheda Dati sezione iniziale^[15] in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche, le armature ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo (la classe del calcestruzzo ed il tipo di acciaio non sono selezionabili in quanto devono essere necessariamente quelli corrispondenti alla prima - materiale esistente - riga nelle griglie di riferimento).

Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi Sforzi Risultati

Geometria e calcestruzzo sezione iniziale

Forma Dominio Corrente

Sezione Rettangolare
 Sezione Circolare

Calcestruzzo: fck150

Lato X Pilastro (cm) 25.0
Lato Y Pilastro (cm) 25.0

ARMATURE

Acciaio barre longitudinali Feb32k

Barre nei vertici dei domini poligionali (cm)

Nessuna 1 barra per oani vertice
 3 barre per oani vertice

Diam.(mm) 16 Coprif.(cm) 3

Barre nei Vertici + Barre Isolate

n°	x [cm]	y [cm]	Ø [mm]	^
1	-9.5	-9.5	16	
2	-9.5	9.5	16	
3	9.5	9.5	16	

Generazioni lineari di barre

N° gen.	Barra Iniz.	Barra Finale	N° Barre	Ø (mm)	^
1	1	4	1	16	
2	2	3	1	16	
3					

Input rinforzi

Una volta scelta la sottoscheda Tessuti/Lamine FRP basta portarsi nei dati relativi alla Fasciatura e qui selezionare il rinforzo (CFRP_1) assegnato nell'archivio, il passo, il N° di strati sovrapposti ed il raggio di arrotondamento degli spigoli (minimo 2 cm). Naturalmente si inizia ad assegnare un solo strato e se non verifica si incrementano gli strati fino a verifica. Qui è stato necessario arrivare a 5 strati prima di ottenere la verifica positiva.

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Rinforzi FRP longitudinali a flessione

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

	N° Strisce	N° Strati	1° Vertice	2° Vertice	
1					▲
2					▼

Tipo di delaminazione FRP

Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)

Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio

Nessun rinforzo

Disposizione avvolgente

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

Larghezza striscia (cm):

Passo strisce (cm):

N° strati sovrapposti:

Raggio spigoli (cm):

Fasciatura FRP perimetrale di confinamento

Nessun rinforzo

Fasciatura discontinua

Fasciatura continua

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

Larghezza striscia (cm):

Spessore Inf. (cm):

N° strati sovrapposti:

Raggio spigoli (cm):

Input Sforzi

In questa applicazione gli sforzi in esercizio non sono influenti trattandosi di pilastro prevalentemente compresso. Al momento M_x è stato assegnato il valore nullo allo scopo di valutare il massimo sforzo normale disponibile.

Tipo di flessione

RETTA DEVIATA

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm] My [kNm]

Tipo di combinazione

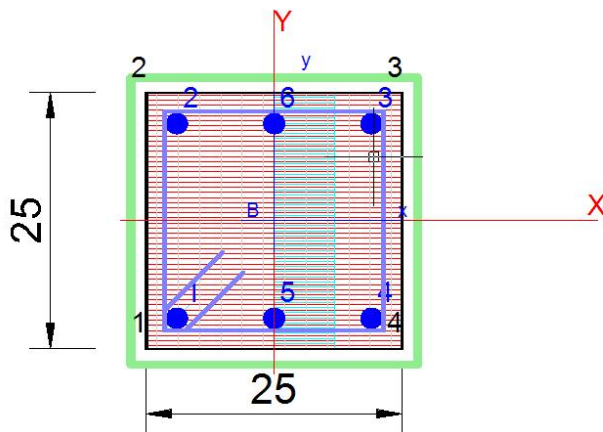
Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	0

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vy [kN]	Vx [kN]
1	1050.00	0.10	0.00	10.00	10.00
2					
3					

Risultati

Nome sezione: Esempio2.sezfrp Comb. n. 1 (S.L.U.)



Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi Sforzi Risultati Duttilità

sezione non verificata

Tipo Combinazione	N° Comb.	Non verific.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	1	1
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	0	0
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	0	0
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	0	0

Combinazione N° **1** **COMBINAZIONE NON VERIFICATA**

Fless.Composta (S.L.U.): Misura sicur.=1.015 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi ultimi (assi princ.in.)	Deform. unit. a rottura
N=1050.00 kN	Nu=1066 kN (862)	e_maxClS=0.0040
Mx=0.10 kNm	MxR=0.10kNm (0)	e_minClS=0.0040
My=0.00 kNm	MyR=0.00kNm (0)	e_maxFe=0.0033
		e_minFe=0.0032
	Curv.Ult.=0.0000019 1/cm	AsseNeutro:aX=bY=c=0
	As tesa=0.00 cm²	coeff. a = 0.00000000

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 909.091 [OK se <= 1.0]

Sforzi Dati/Ultimi	Staffe in acciaio
TAGLIO:	Staffe: Af St = 0.00 cm²/m
Vy = 10.00 kN	Diam.St.agg.: Ø0 (Ø8) mm
Vx = 10.00 kN	Passo St. agg. = 0.0 (15.0) cm
VSdu=10.00 kN	
VRcd=0.05 kN(0.00)	
VRsd=0.00 kN(0.00)	

Calcola e visualizza

Sezione con tensioni e deformazioni

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata + Sez. Iniziale

Gran parte dei risultati (a partire dallo sforzo normale Ultimo pari a 1066 kN > 1050 = N_{Ed}) compaiono in questa finestra dei risultati in cui i risultati sono selezionabili per singola combinazione di carico. Si noti come accanto allo sforzo normale resistente della sezione confinata sia riportato tra parentesi quello della sezione priva di rinforzo. Nel volume citato si è ottenuto uno sforzo normale ultimo a pari a 1068.85 kN praticamente coincidente con quello calcolato dal presente programma.

Utilizzando la fasciatura di confinamento continua sono sufficienti solo 2 strati di composito per ottenere il prescritto sforzo normale. Ma è bene considerare che la fasciatura continua annulla la traspirabilità del pilastro in c.a. a differenza della

fasciatura discontinua. Vanno quindi sempre valutate le condizioni ambientali che l'elemento dovrà fronteggiare (ambienti umidi o secchi).

Per un esame più approfondito dei risultati (unitamente ad i dati di input) è possibile effettuare (tramite apposito pulsante nel pannello delle schede) la stampa completa che di seguito si riporta:

La sezione risulta, però, non verificata a taglio a causa dell'elevato valore dello sforzo normale.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio2.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio2.sezfrp)

Descrizione Sezione:

Tipologia sezione iniziale:	Sezione rettangolare di pilastro
Lato X sezione [cm]:	25.0
Lato Y sezione [cm]:	25.0
Normativa di riferimento:	CNR DT-200 2013
Percorso sollecitazione:	A rapporto M/N costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla duttilità	Deformazione materiali fino a rottura
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck15	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25892.6	N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
	Resistenza media a compressione fcm:	17.21	N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	15.00	N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	8.50	N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25892.6	N/mm ²
	Resis. media a trazione fctm:	1.82	N/mm ²
	Resist. confinata max (al max parabola):	8.50	N/mm ²
	Resist. confinata alla deform. ultima:	11.80	N/mm ²
	Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0020	
	Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0040	
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb32k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a snervamento = fym :	315.0	N/mm ²
	Resist. media a rottura = ftm :	362.3	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15):	273.9	N/mm ²
	Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :	1.15	
	Deform. unitaria ultima di progetto Epu:	0.036	
	Modulo Elastico Es	200000.0	N/mm ²
Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito		
FRP -	In Tessuto o lamine per CONFINAMENTO:	CFRP_1	
	Descrizione composito impiegato:	Laminato pultruso	
	Fattore convers. EtaA per sistema Preformato (§3.5.1 CNR2013)	0.950	
	Modulo elastico Ef [(2.4)-(2.10)CNR2013]:	189000.0	N/mm ²

Resistenza caratteristica a rottura f_{fk} sistema FRP:	2880.0	N/mm ²
Deform. caratteristica a rottura $e_{fk} = f_{fk}/E_f$	0.0152	
Deform. a rottura per confinamento [(4.34)CNR2013]	0.0040	
Deform. a rottura per calcolo curvature [(4.42)CNR2013]	0.0091	
Larghezza singola striscia tessuto (o lamina)	250	mm
Passo strisce frp	375	mm
Spessore t_f singolo strato tessuto/lamina	0.13	mm
Numero strati tessuto/lamina	5	
Coeff. efficienza orizzontale k_H [(4.40) CNR2013]	0.526	
Coeff. efficienza verticale k_V [(4.35) CNR2013]	0.563	
Pressione laterale efficace di confinamento $f_{l,eff}$ [(4.33)CNR2013]:	0.8	N/mm ²
Efficacia confinamento = $f_{l,eff}/f_{cd}$ [§4.5.2(7)CNR2013]:	9.1	%
Resistenza calcestruzzo confinato f_{ccd} [(4.31)CNR2013]:	11.8	N/mm ²
Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza :	0.004	
Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità (§4.5.3 CNR2013):	8.5	N/mm ²
Deform. ultima cls. confinato x calcolo di duttilità [(4.41)CNR2013]:	0.0104	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck150

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	-12.5
2	-12.5	12.5
3	12.5	12.5
4	12.5	-12.5

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb32k)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.5	-9.5	16
2	-9.5	9.5	16
3	9.5	9.5	16
4	9.5	-9.5	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE SEZ. INIZIALE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	1	16
2	2	3	1	16

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale: 8 mm
 Passo staffe sez. iniziale: 15.0 cm
 Staffe sez. iniziale: Una sola staffa chiusa perimetrale

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico 780.00
 Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo 0.00
 Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo 0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1050.00	0.10	0.00	10.00	10.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	1050.00	0.10	0.00	1065.51 (861.68)	0.10 (0.00)	0.00 (0.00)
1.015							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.00400	-12.5	12.5	0.00327	-9.5	9.5	0.00323	-9.5	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

N°Comb	a	b	c
1	0.000000000	0.000001890	0.003976379

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione non rinforzata a taglio)

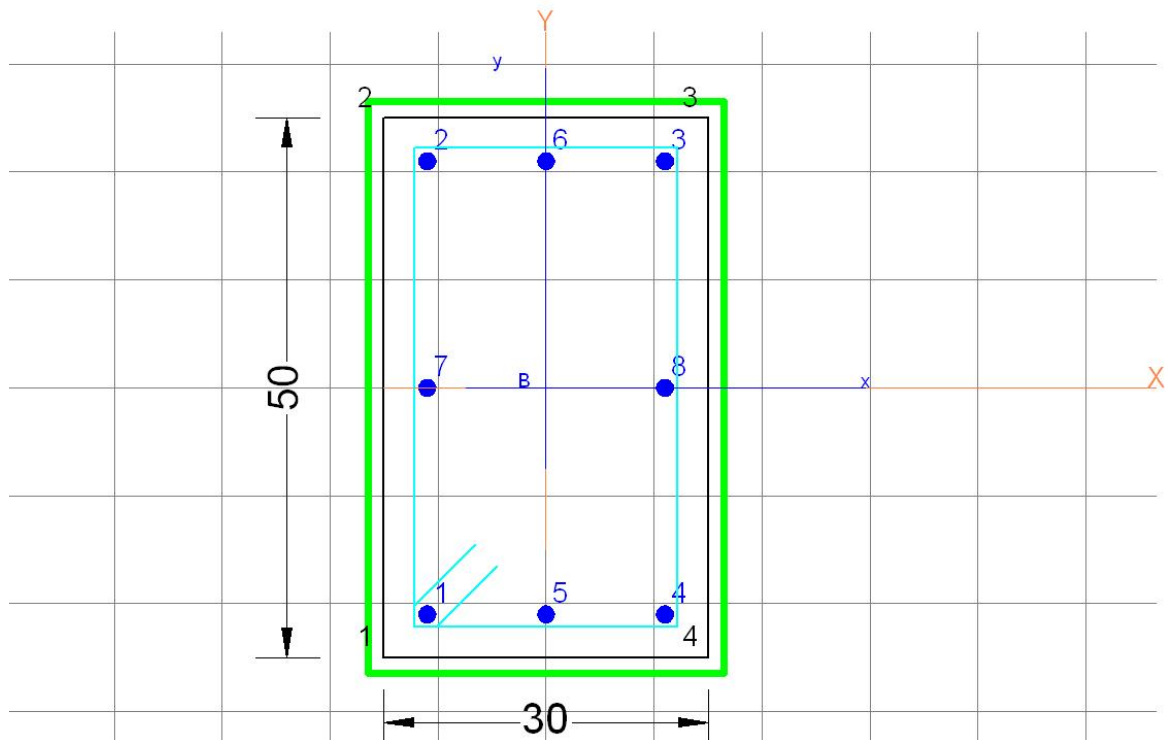
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vrcd	Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. Tra parentesi quello assorbito dalle staffe esistenti.
z	Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.
Alfa c	Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	N	10.00	0.05 (0.00)	0.00 (0.00)	9.5	25.0	1.00	0.001

1) Verifica a Taglio non soddisfatta.

11.3 Esempio 3

Nome sezione: Esempio3.sezfrp



Nell'ambito di un calcolo lineare di adeguamento sismico con fattore di comportamento q si vuole verificare in resistenza e duttilità la sezione di un pilastro all'attacco con le fondazioni.

Trattandosi di struttura esistente che non rispetta i dettagli costruttivi delle strutture nuove per quanto riguarda la duttilità è necessario effettuare la verifica di duttilità con calcolo diretto a mezzo della costruzione del diagramma momenti-curvature. Sulla base del fattore di comportamento q e dei periodi T_1 e T_c va verificata una domanda di duttilità in curvatura espressa dal suo fattore $\mu_\phi = 6.0$ calcolato a mezzo delle (7.4.3) NTC.

Un primo calcolo di duttilità in assenza di rinforzi conduce ad un valore di appena $\mu_\phi = 1.49$. Per soddisfare detta domanda si progetta l'applicazione una fasciatura CFRP (nella zona critica dell'asta all'attacco con le fondazioni) solo trasversalmente al pilastro. Naturalmente la sezione deve essere in grado di resistere ai concomitanti sforzi di combinazione assegnati (il solo confinamento ha un effetto limitato sull'incremento di resistenza a flessione):

$$N_{Ed} = 500.00 \text{ kN}$$

$$M_{x_{Ed}} = 145.00 \text{ kNm}$$

$$M_{y_{Ed}} = 32.00 \text{ kNm}$$

$$V_{x_{Ed}} = 125.00 \text{ kNm}$$

$$V_{y_{Ed}} = 64.00 \text{ kNm}$$

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali¹³:

Tipo di sezione: Predefinita (trattandosi di flessione retta di sezione rettangolare)

Posizione sezione: sezione nodale (dato non cogente in questa specifica applicazione)

Percorso di sollecitazione: $N = \text{costante}$. E' la modalità corrente di calcolo delle resistenze in pressoflessione.

Gli altri dati di questa scheda possono essere lasciati invariati in quanto non intervengono nel presente calcolo

L'armatura esistente è costituita da 6 barre $\Phi 16$ disposte come in figura con copriferro (dal baricentro delle armature) pari a 3 cm.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente:

$$f_{cm} = 21.0 \text{ N/mm}^2$$

$$FC = 1.20$$

$$f_{cd} = 113.3 \text{ N/mm}^2$$

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:

$$f_{ym} = 430.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 311.6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{td} = 311.6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Tipo di Applicazione: Tessuto impregnato in situ

Tipo di delaminazione: non interessa in presenza di solo confinamento

$$a = 0.95 = \text{Fattore di conversione ambientale}$$

$E_f = 235000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore

$f_{fk} = 4200.0 \text{ N/mm}^2$ = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunta dalla scheda tecnica del produttore

$b_{f,l} = 20 \text{ cm}$ = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$p_f = 20 \text{ cm} = b_{f,l}$ per indicare la fasciatura continua

$t_{f,l} = 0.45 \text{ mm}$ spessore di un singolo strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali¹⁴ (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito plusante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione:

griglia dati Calcestruzzi: si può definire un nuovo tipo di calcestruzzo o modificare uno già definito nella griglia. Trattandosi del calcestruzzo esistente della sezione iniziale e quindi non rientrante nelle classi predefinite previste dalle NTC vanno modificati i dati del calcestruzzo della prima riga:

Classe cls: Rck25 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo utilizzato in questo calcolo - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")

fck,cubi: $20.0/0.83 = 25.0 \text{ N/mm}^2$ viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

Modulo elastico cls: 29960.0 N/mm^2 (dato ricavato a mano sulla base di f_{ck})

$f_{ck} = 20.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$f_{cd} = 11.33 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$f_{ctd} = 1.01 \text{ N/mm}^2$ (non interviene in questa applicazione)

$f_{ctm} = 2.21 \text{ N/mm}^2$ (non interviene in questa applicazione)

Gli altri dati compresi nella riga di input (del calcestruzzo che si sta modificando) non interessano il presente calcolo per cui non è necessario modificarli

griglia acciai: trattandosi anche qui di un acciaio non rientrante nelle classi predefinite conviene modificare i dati della prima riga (primo tipo di acciaio = acciaio esistente)

Nome acciaio: Feb38k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciaio esistente)

$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico dell'acciaio

$f_{yk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato ed utilizzato per il calcolo di resistenza)

$f_{tk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$ (valore caratteristico a rottura: questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità previsto in questa applicazione)

$f_{td} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo)

$e_{pk} = e_{uk} = 0.045$ = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)

$e_{pd_ult} = e_{ud} = 0.04$ = deformazione a rottura di calcolo (posta pari a $0.9 e_{ud}$ come da §4.2.1.2.2.3 NTC). Le Istruzioni NTC al §C8A.6.5 consigliano, in mancanza di informazioni più accurate, di stimare la assumendo per l'acciaio una deformazione ultima pari a 0.04.

griglia FRP: si modifica la prima riga con i dati correnti (oppure si scrivono i dati su una nuova riga)

Nome rinforzo: CFRP_2

Tipo Applicazione: Tipo A (assegnata)

$E_f = 270000.0 \text{ N/mm}^2$ (assegnato)

$E_{ta} = e_a = 0.95$ (assegnato)

$E_{taI} = e_I$ Fattore di conversione ambientale per carichi SLE: non interessa questo calcolo e quindi può essere lasciato il valore già presente

Largh = 15 cm = larghezza singolo tessuto CFRP (assegnato ma qui ininfluente in quanto si è scelta la fasciatura continua)

Spess. = 0.45 mm spessore singolo strato CFRP (assegnato)

i restanti dati della riga non interessano il presente calcolo e possono essere lasciati immutati

Definizione dati sezione iniziale

Chiuso l'archivio materiali si passa alla scheda Dati sezione iniziale¹⁵ in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo ed acciaio.

La finestra compilata ha il seguente aspetto (si notino che per la sezione iniziale le caselle di scelta del tipo di calcestruzzo ed acciaio non sono modificabili e corrispondono entrambe alla prima riga delle grigie):

Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi Sforzi Risultati

Geometria e calcestruzzo sezione iniziale

Forma Dominio Corrente

Sezione Rettangolare
 Sezione Circolare

Calcestruzzo: fck160

Lato X Pilastro (cm) 30.0
Lato Y Pilastro (cm) 50.0

ARMATURE

Acciaio barre longitudinali Feb38k

Barre nei vertici dei domini poligonali (cm)

Nessuna 1 barra per ogni vertice
 3 barre per ogni vertice

Diam.(mm) 16 Coprif.(cm) 4

Barre nei Vertici + Barre Isolate

n°	x [cm]	y [cm]	Ø [mm]
1	-11	-21	16
2	-11	21	16
3	11	21	16

Generazioni lineari di barre

N° gen.	Barra Iniz.	Barra Finale	N° Barre	Ø (mm)
1	1	4	1	16
2	2	3	1	16
3	1	2	1	16

Legature esistenti

Diam.(mm) 8

N°	Barra N°	Barra N°
1		
2		
3		

Ø (mm) 8
Passo (cm) 8.0

Input Staffe multiple

Input rinforzi

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Rinforzi FRP longitudinali a flessione

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

	N° Strisce	N° Strati	1° Vertice	2° Vertice	
1					▲
2					▼

Tipo di delaminazione FRP

Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)

Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio

Nessun rinforzo

Disposizione avvolgente

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_1

Larghezza striscia (cm):

Passo strisce (cm):

N° strati sovrapposti:

Raggio spigoli (cm):

Fasciatura FRP perimetrale di confinamento

Nessun rinforzo

Fasciatura discontinua

Fasciatura continua

Scelta del rinforzo FRP: CFRP_2

Larghezza striscia (cm):

Spessore Inf. (cm):

N° strati sovrapposti:

Raggio spigoli (cm):

Una volta scelta la sottoscheda Tessuti/Lamine FRP basta portarsi nei dati relativi alla Fasciatura e qui selezionare il rinforzo (CFRP_2) assegnato nell'archivio, il passo, il N° di strati sovrapposti ed il raggio di arrotondamento degli spigoli (minimo 2 cm). Naturalmente si inizia ad assegnare un solo strato e se non verifica si incrementano gli strati fino a verifica. Qui è stato necessario arrivare a 2 strati prima di ottenere la verifica.

Input Sforzi

Tipo di flessione

RETTA DEVIATA ?

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm] My [kNm]

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	0

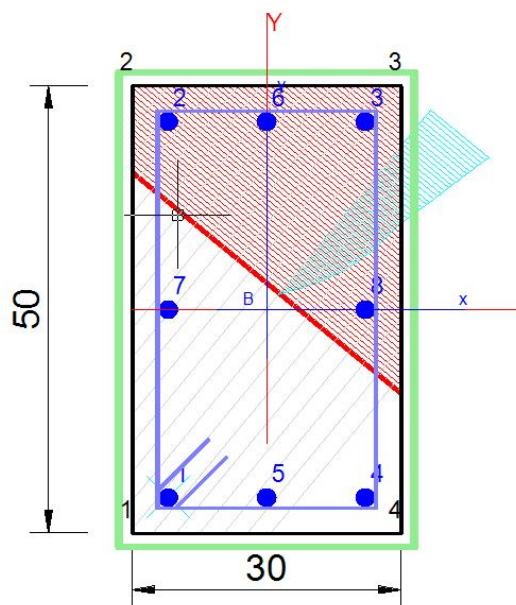
Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vy [kN]	Vx [kN]
1	500.00	145.00	32.00	120.00	60.00
2					

In questa applicazione mirata agli SLU gli sforzi in esercizio non sono influenti. Naturalmente è possibile inserire ulteriori combinazioni allo SLU (fino a 60).

Risultati

Nome sezione: Esempio3.sezfrp Comb. n. 1 (S.L.U.)



Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi Sforzi Risultati Duttilità

sezione verificata

Tipo Combinazione	N° Comb.	Non verific.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	1	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	0	

Combinazione N° **1** COMBINAZIONE VERIFICATA

Fless.Composta (S.L.U.): Misura sicur.=1.088 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi ultimi (assi princin.)	Deform. unit. a rottura
N=500.00 kN	Nu=500 kN (500)	e_maxClS=0.0040
Mx=145.00 kNm	MxR=157.93kNm (146)	e_minClS=-0.0047
My=32.00 kNm	MyR=34.34kNm (32)	e_maxFe=0.0032
		e_minFe=-0.0038
	Curv.Ult.=0.0001505 1/cm	AsseNeutro:aX+bY+c=0
	Curv.Sner.=0.000071 1/cm	coeff. a=0.00009561

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 0.611 [OK se <= 1.0]

Sforzi Dati/Ultimi	Staffe in acciaio
TAGLIO:	Staffe Af St = 0.00 cm ² /m
Vy = 120.00 kN	Diam.St.agg.: Ø0 (Ø8) mm
Vx = 60.00 kN	Passo St. agg. = 0.0 (8.0) cm
VSdu=130.79 kN	
VRcd=214.07 kN(212.68)	
VRsd=265.25 kN(265.25)	

Calcola e visualizza

Sezione con tensioni e deformazioni

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata + Sez. Iniziale

Si nota il diagramma delle tensioni parabola-trapezoidale del calcestruzzo che tiene conto dell'incrudimento dovuto al confinamento ma che non porta ad un cospicuo incremento del momento resistente da 146.20 kNm (in assenza di confinamento) a 157.93 kNm. Entrambi i momenti verificano comunque la sollecitazione di progetto.

Per un esame più approfondito dei risultati (unitamente ad i dati di input) è possibile effettuare (tramite apposito pulsante nel pannello delle schede) la stampa completa che di seguito si riporta:

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio3.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtriti\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio3.sezfrp)

Descrizione Sezione:
 Tipologia sezione iniziale: Sezione rettangolare di pilastro
 Lato X sezione [cm]: 30.0
 Lato Y sezione [cm]: 50.0
 Normativa di riferimento: CNR DT-200 2013
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
 Riferimento alla duttilità: Deformazione materiali fino a rottura
 Posizione sezione nell'asta: In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck16		
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0	N/mm ²	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35		
	Resistenza media a compressione fcm:	21.00	N/mm ²	
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	16.00	N/mm ²	
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	10.37	N/mm ²	
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020		
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035		
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo		
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0	N/mm ²	
	Resis. media a trazione fctm:	1.90	N/mm ²	
	Resist. confinata max (al max parabola):	10.37	N/mm ²	
	Resist. confinata alla deform. ultima:	16.73	N/mm ²	
	Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0020		
	Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0040		
	ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
		Fattore di Confidenza FC assunto:	1.20	
Resistenza media a snervamento = fym :		430.0	N/mm ²	
Resist. media a rottura = ftm :		494.5	N/mm ²	
Resist. a snervamento di progetto fy d=fym/(FC*1.15):		311.6	N/mm ²	
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :		1.15		
Deform. unitaria ultima di progetto Epu:		0.036		
Modulo Elastico Es		200000.0	N/mm ²	
Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito			
FRP -	In Tessuto o lamine per CONFINAMENTO:	CFRP_2		
	Descrizione composito impiegato:	Tessuto unidirezionale		
	Fattore convers. EtaA per sistema Impregnato (§3.5.1 CNR2013)	0.950		
	Modulo elastico Ef [(2.4)-(2.10)CNR2013]:	235000.0	N/mm ²	
	Resistenza caratteristica a rottura ftk sistema FRP:	4200.0	N/mm ²	
	Deform. caratteristica a rottura e_fk= ftk/Ef	0.0179		
	Deform. a rottura per confinamento [(4.34)CNR2013]	0.0040		
	Deform. a rottura per calcolo curvature [(4.42)CNR2013]	0.0107		
Spessore lf singolo strato tessuto/lamina	0.45	mm		

Numero strati tessuto/lamina	2
Coeff. efficienza orizzontale k_H [(4.40) CNR2013]	0.374
Coeff. efficienza verticale k_V [(4.35) CNR2013]	1.000
Pressione laterale efficace di confinamento $f_{1,eff}$ [(4.33)CNR2013]:	1.7 N/mm ²
Efficacia confinamento = $f_{1,eff}/f_{cd}$ [§4.5.2(7)CNR2013]:	16.3 %
Resistenza calcestruzzo confinato f_{ccd} [(4.31)CNR2013]:	16.7 N/mm ²
Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza :	0.004
Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità (§4.5.3 CNR2013):	10.4 N/mm ²
Deform. ultima cls. confinato x calcolo di duttilità [(4.41)CNR2013]:	0.0134

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck160

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-25.0
2	-15.0	25.0
3	15.0	25.0
4	15.0	-25.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-11.0	-21.0	16
2	-11.0	21.0	16
3	11.0	21.0	16
4	11.0	-21.0	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE SEZ. INIZIALE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	1	16
2	2	3	1	16
3	1	2	1	16
4	3	4	1	16

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale:	8 mm
Passo staffe sez. iniziale:	8.0 cm
Staffe sez. iniziale:	Una sola staffa chiusa perimetrale

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico	0.00
Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo	0.00
Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo	0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	500.00	145.00	32.00	120.00	60.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	500.00	145.00	32.00	499.92	157.93 (146.20)	34.34 (31.63)
1.088							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.00400	15.0	25.0	0.00315	11.0	21.0	-0.00383	-11.0	-21.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

N°Comb	a	b	c
1	0.000095613	0.000116215	-0.000339558

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione non rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata								
Vsdu	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro								
Vrcd esistente	Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente								
Vrsd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. Tra parentesi quello assorbito dalle staffe esistenti.								
z	Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.								
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z								
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.								
Alfa c	Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.								

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	S	130.79	214.07 (212.68)	265.25 (265.25)	28.0	34.2	2.50	1.250

DOMINI DI RESISTENZA

Il programma consente anche la possibilità di confronto tra il dominio di resistenza (a sforzo normale $N = \text{costante}$) della sezione rinforzata e quello (in colore ciano) della sezione non rinforzata.

DOMINIO INTERAZIONE Mx-My (STATI LIMITE ULTIMI)

Nome Sezione: Esempio3.sezfrp

Percorso File: C:\LSORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio3.sezfrp

N = 500 [kN] = Cost.

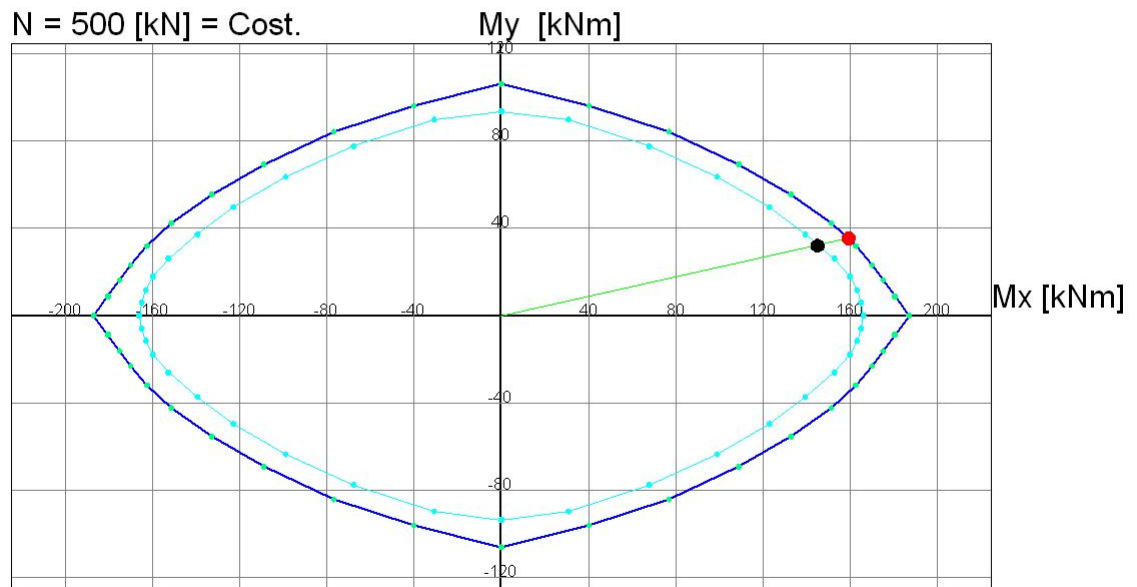
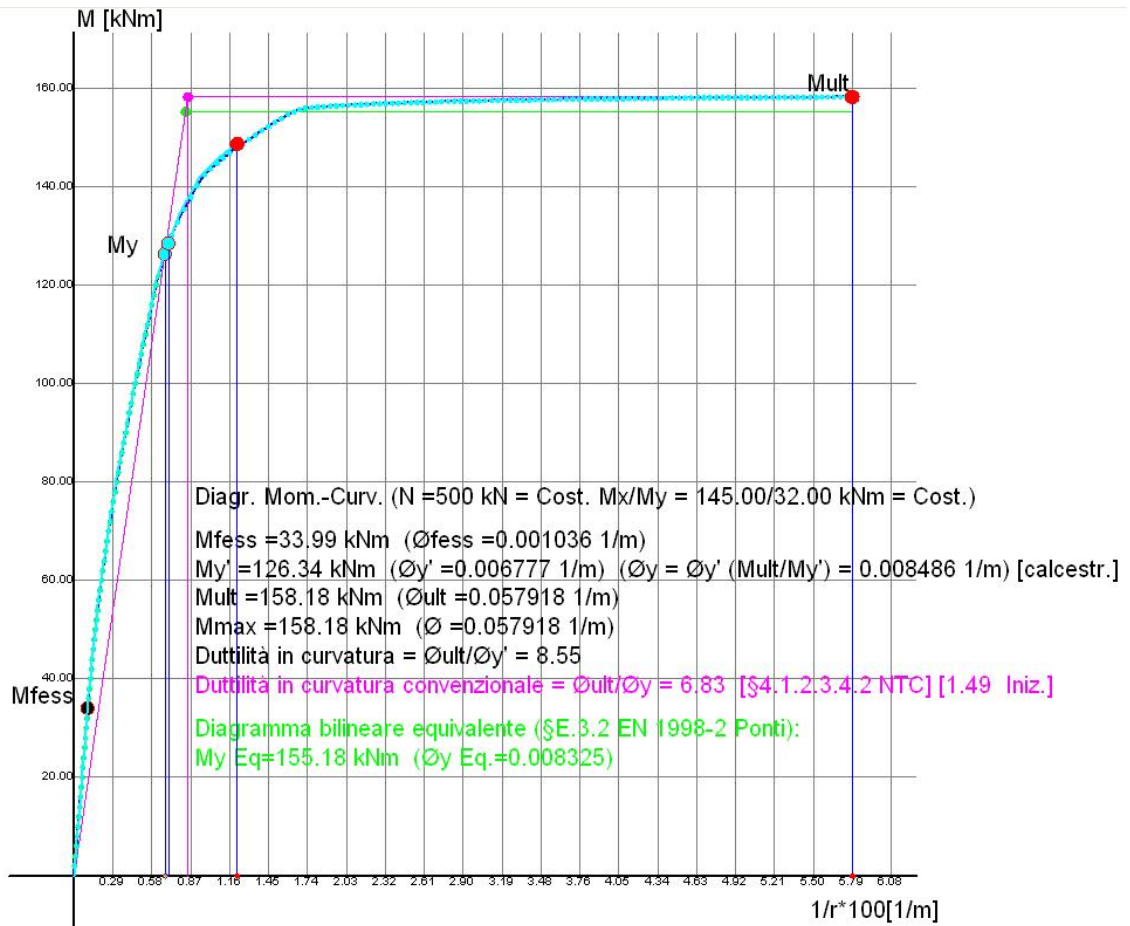
Passo Momenti M_x , M_y griglia = 40 kNm

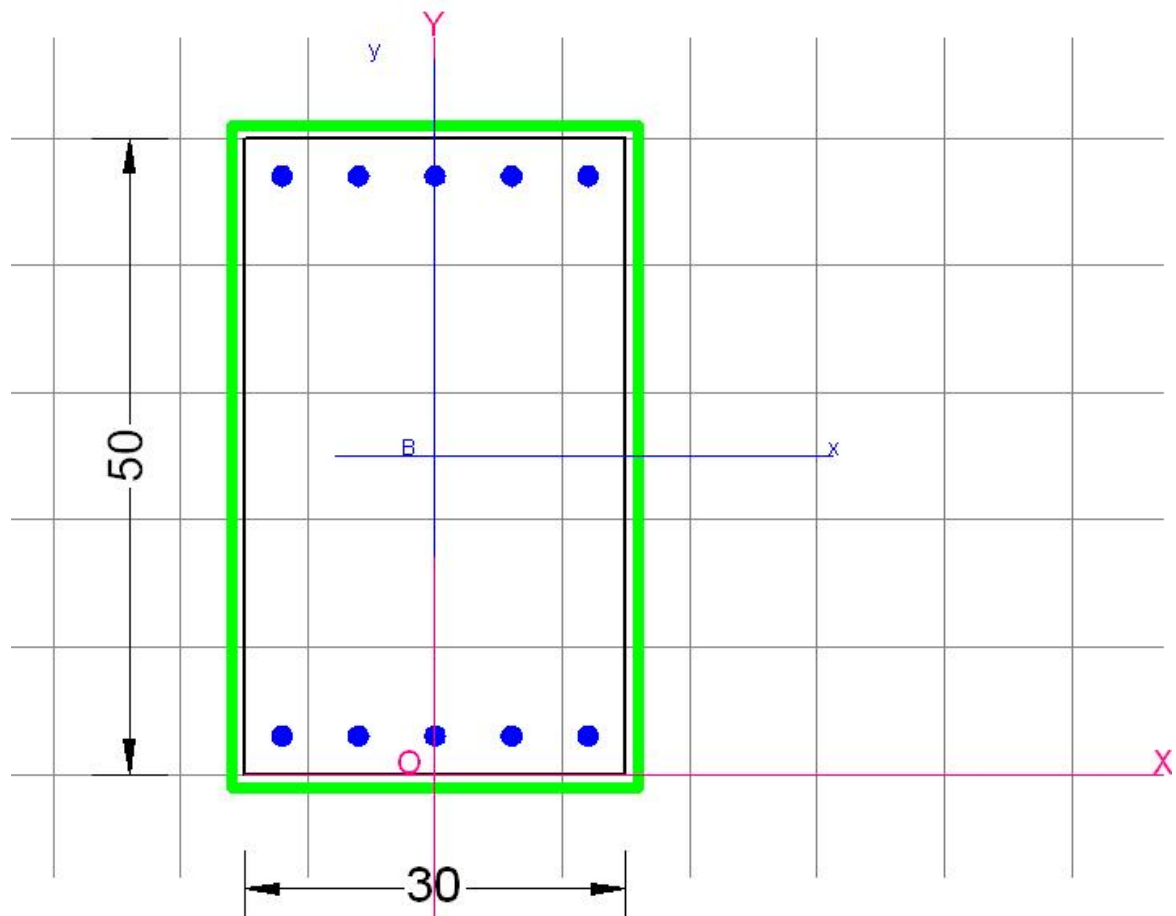
DIAGRAMMA MOMENTI - CURVATURE



Per il calcolo di duttilità basta passare alla scheda Staffe-Duttilità e selezionare l'opzione Cls. confinato per ottenere il diagramma momenti-curvature in figura. Il diagramma col rinforzo e senza (qui sovrapposti) sono coincidenti fino alla curvatura ultima del diagramma della sezione priva di rinforzo (primo pallino rosso sul diagramma). Si noti il notevole incremento di curvatura ultima e quindi di duttilità in curvatura conseguito attraverso il confinamento. In particolare si è passati da un fattore di duttilità in curvatura di 1.49 a 8.55 maggiore del valore di 6 richiesto.

11.4 Esempio 4

: Esempio4.sezfrp



La sezione di trave in figura (tratta da [8²⁴⁰] §6.9) a causa di un errore di montaggio delle staffe risulta sottodimensionata a taglio (in particolare per il valore del taglio derivato dalla gerarchia taglio-momento). Per soddisfare la maggiore richiesta di resistenza a taglio si progetta una fasciatura con CFRP avvolgente trasversale discontinua.

L'armatura longitudinale consta di 5+5 Φ 16, quella trasversale insufficiente è costituita da 1 Φ 8/15cm.

Le sollecitazioni di progetto sono:

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 165.00 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 287.50 \text{ kN}$$

Poichè la sezione appartiene ad una trave da poco ultimata si assumono i dati nominali del calcestruzzo e dell'acciaio come se si trattasse di una sezione nuova, pertanto, nelle prime righe dei dati sui materiali si assumono:

$$f_{cm} = 25.0 \text{ N/mm}^2$$

$$FC = 1.0$$

$$f_{cd} = 141.6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ym} = 430.0 \text{ N/mm}^2$$

$$FC = 1.0$$

$$f_{yd} = 373.9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Tipo di sistema FRP: Preformato

$$a = 0.95 = \text{Fattore di conversione ambientale}$$

$E_f = 270000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico di calcolo desunto dalla scheda tecnica del produttore

$f_{fk} = 2700.0 \text{ N/mm}^2$ = resistenza caratteristica di calcolo desunta dalla scheda tecnica del produttore

$b_{f,l} = 15 \text{ cm}$ = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$p_f = 20 \text{ cm}$ = passo (interasse) delle fasce

$t_{f,l} = 0.167 \text{ mm}$ spessore di un singolo strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore

Input dati generali nel programma

E' importante ricordare che nel caso del rinforzo a taglio con FRP le CNR2013 consentono la variazione di Teta tra 21.80° e 45.00° . In questo esempio allo scopo di eseguire un calcolo più conservativo è stato imposto un valore minimo di Teta superiore a 21.80° mediante l'assegnazione della cotangente di 1.5 nelle Opzioni di calcolo (dal menu Preferenze).

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali¹³:

Tipo di sezione: Predefinita (trattandosi di flessione retta di sezione rettangolare)

Posizione sezione: sezione nodale (dato non cogente in questa specifica applicazione)


Percorso di sollecitazione: N = costante. E' la modalità corrente di calcolo delle resistenze in flessione e presso-flessione.

Gli altri dati di questa scheda possono essere lasciati invariati in quanto non intervengono nel presente calcolo

Definizione dati sezione iniziale

Chiuso l'archivio materiali si passa alla scheda Dati sezione iniziale¹⁵ in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo ed acciaio.

La finestra compilata ha il seguente aspetto (si notino le caselle di scelta del tipo di calcestruzzo ed acciaio corrispondenti ai nomi dei materiali assegnati nell'archivio materiali):

Dati Generali	Sez.Iniz.	Rinforzi	Sforzi	Risultati			
Sezione predefinita iniziale							
<input type="checkbox"/> Sezione Precompressa 							
Rettangolare <input type="text" value="Rettangolare"/>							
C25/30 <input type="text" value="C25/30"/>							
Dati sezione calcestruzzo (in cm)							
B	<input type="text" value="30"/>						
H	<input type="text" value="50"/>						
Armature lente							
	<input type="text" value="Feb44k"/>	<input type="text" value="3"/>	C.ferr				
		<input type="text" value="3"/>	C.ferr				
Barre Inferiori							
n°	<input type="text" value="5"/>	Ø mm	<input type="text" value="16"/>	n°	<input type="text" value="0"/>	Ø mm	<input type="text" value="0"/>
Barre Superiori							
n°	<input type="text" value="5"/>	Ø mm	<input type="text" value="16"/>	n°	<input type="text" value="0"/>	Ø mm	<input type="text" value="0"/>
Staffe							
<input checked="" type="radio"/> 1 Staffa chiusa <input type="checkbox"/> Braccio intermedio <input type="checkbox"/> Senza Staffe							
<input type="radio"/> 2 Staffe chiusa							
Diam. (mm)	<input type="text" value="8"/>	Passo (cm)	<input type="text" value="15.0"/>				

Input rinforzi a taglio

Nella scheda Rinforzi vanno assegnati i dati relativi al rinforzo a taglio avvolgente. Il numero di strati sovrapposti è conseguente al fatto che per per uno o per deu stati le verifiche hanno dato risultati insufficienti (cioè il calcolo va fatto per successivi tentativi, peraltro rapidissimi grazie all'elaborazione automatica, variando unicamente il numero di strati).

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio **Tessuti/Lamine FRP**

Rinforzi FRP longitudinali a flessione
 Scelta del rinforzo FRP: FRP_1

	N° Strisce	N° Strati
Rinforzo Inferiore		
Rinforzo Superiore		

Tipo di delaminazione FRP
 Delaminazione Tipo 2 (per flessione nella zona centrale del rinforzo)
 Delaminazione Tipo 1 (estremità rinforzo con $L > L_e$ =lungh. ottimale)

Rinforzi FRP a taglio
 Nessun rinforzo
 Disposizione ad U
 Disposizione avvolgente

Scelta del rinforzo FRP: FRP_1

Larghezza striscia (cm): 15.0 Passo strisce (cm): 20.0
 N° strati sovrapposti: 2 Raggio spigoli (cm): 4.0

Fasciatura FRP perimetrale di confinamento
 Nessun rinforzo
 Fasciatura discontinua
 Fasciatura continua

Scelta del rinforzo FRP: FRP_1

Sforzi

Tipo di flessione
 RETTA

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo
 N [kN]: 0.00 Mx [kNm]: 0.00

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	0

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	0.00	60.00	287.53
2			

trattandosi di solo rinforzo a taglio non sono state prese in considerazione gli sforzi di esercizio (relativi alla sola sollecitazione di presso-flessione)

Risultati

Si riporta di seguito la stampa completa dei risultati da cui si evince che il solo rinforzo CFRP a taglio incrementa la resistenza di 143.37 kN, le staffe iniziali portano solo 159.00 kN a fronte della richiesta resistenza di 287.53 kN. I suddetti tre contributi conducono ad una resistenza lato acciaio pari a 302.37 kN superiore a quella richiesta. La resistenza dei puntoni a taglio resta a 414.68 kN e quindi è anch'essa verificata.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio4.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\lritri\Desktop\SEZ_CAIA_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio4.sezfrp)

Descrizione Sezione:

Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla duttilità:	Deformazione materiali fino a rottura
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione calcestruzzo sezione esistente:	C25/30	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a compressione fcm:	25.00 N/mm ²	
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	25.00 N/mm ²	
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd=fcm/(FC*1.5):	14.16 N/mm ²	
	Resistenza ridotta fcd' (verifica a taglio):	7.08 N/mm ²	
	Deform. unitaria alla massima resistenza:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante Ecm:	31475.0 N/mm ²	
	Resist. media a trazione fctm:	2.56 N/mm ²	
	ACCIAIO -	Tipo barre sezione esistente:	Feb44k
		Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00
Resistenza caratteristica a snervamento = fy m :		430.0 N/mm ²	
Resistenza media a snervamento:		430.0 N/mm ²	
Resist. a snervamento di progetto fy d=fy m/(FC*1.15):		373.9 N/mm ²	
Rapporti ftk/fyk = ftm/fyk:		1.00	
Resist. caratteristica a rottura di progetto ftd:		373.9 N/mm ²	
Deform. a rottura di progetto Epu:		0.036	
Modulo Elastico Es:		200000.0 N/mm ²	
Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito		
FRP -	In tessuto per RINFORZO a TAGLIO dispos. in avvolgimento:		
	Calcolo secondo CNR-DT 200 R1/2013		
	Sist. Preformato. Fatt. conversione EtaA (§3.5.1 CNR2013)	0.950	
	Modulo elastico Ef composito (§2.2.1 CNR2013):	270000.0 N/mm ²	
	Resistenza caratteristica a rottura composito ftk :	2700.0 N/mm ²	
	Coeff. parziale per distacco [§3.4.1]	1.10	
	Deformazione caratteristica a rottura e_fk= ftk/Ef	0.0100	
Tens. fidd delaminazione in modalità 1	418.7 N/mm ²		

Tens. f.fed delam. efficace di progetto [(4.22)CNR2013]	541.2	N/mm ²
Lunghezza ottimale di ancoraggio L_e [(4.1)CNR2013]	200	mm
Numero strati di tessuto (o lamina)	2	
Larghezza singola striscia tessuto (o lamina)	150	mm
Spessore equiv.al. singolo strato tessuto/lamina:	0.17	mm
Passo strisce:	200	mm
Altezza anima sezione impegnata dal rinforzo:	42	cm
Raggio curvatura r_c arrotondamento spigoli sezione cls. (≥ 20):	40	mm
Angolo Beta di disposizione delle fibre:	90.00	°

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Base:	30.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm ²)
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	3.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	3.0	cm
Diametro Staffe:	8	mm
Passo Staffe:	15	cm
N. Bracci Staffa:	2	

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico (+ se di compressione):	0.00
Momento fl. M_x [kNm] preesistente (+ se comprime le fibre superiori):	0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Sforzo normale finale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)		
M_x	Coppia concentrata finale [kN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione		
V_y	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione		
N° Comb.	N	M_x	V_y
1	0.00	60.00	287.53

RISULTATI DEL CALCOLO**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate****COMBINAZIONI SLU - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata							
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)							
M_x	Momento flettente assegnato [kNm] (positivo se tende le fibre inferiori)							
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compressione)							
M ult	Momento flettente ultimo[kNm] (tra parentesi valore pre-rinforzo iniziale)							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, M_x ult) e (N, M_x) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000							
Y_{neuro}	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.							
M sn.	Momento flettente allo snervamento dell'acciaio [kNm]							
N° Comb	Ver	N	M_x	N ult	M ult	Mis.Sic.	Y_n	M sn

1	S	0.00	60.00	0.27	167.21 (167.21)	2.787	45.6	160.18
---	---	------	-------	------	-----------------	-------	------	--------

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	50.0	0.00112	47.0	-0.03384	3.0

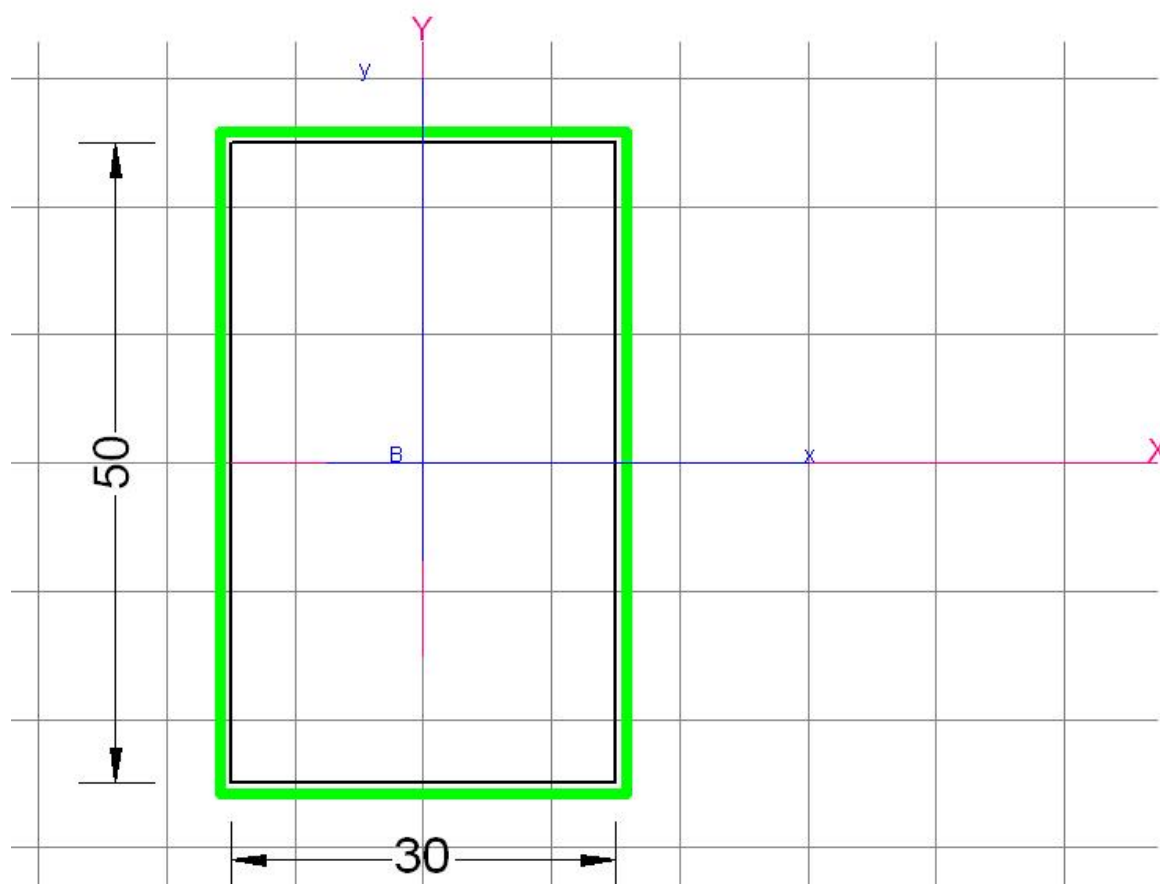
COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
VrFrp	Taglio trazione resistente assorbito dal solo rinforzo FRP
Vrcd	Taglio resistente [kN] lato calcestruzzo (tra parentesi resist. esistente)(4.1.19)NTC.
Vrsd	Taglio traz. resistente [kN] assorbito dall'FRP, dalle staffe iniziali (tra parentesi resist. sole staffe esistenti)
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC
Alfa c	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC

N°Comb	Ver	Vsdu	Vr Frp	Vrcd	Vrsd	bw	Ctg	Alfa c
1	S	287.53	143.37	414.68 (414.67)	302.37 (159.00)	30.0	1.50	1.000

11.5 Esempio 5

Esempio5.sezfrp



La sezione in figura, tratta da [8]^[240] §7.6] va rinforzata a torsione in quanto le sue staffe $\phi 8/25\text{cm}$ sono insufficienti rispetto al nuovo momento torcente sollecitante $T_{Ed} = 39.00 \text{ kNm}$.

Le armature longitudinali resistenti a torsione hanno un'area complessiva di 12 cm^2 .
Si progetta un rinforzo CFRP in avvolgimento trasversale a 90° di tipo discontinuo

Poichè la sezione appartiene ad una trave da poco ultimata si assumono i dati nominali del calcestruzzo e dell'acciaio ($FC=1$).

Dati assegnati relativi al calcestruzzo:

Classe: C20/25

$$f_{ck} = 20.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 11.3 \text{ N/mm}^2$$

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:

Tipo: Feb38k

$$f_{yk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Tipo di sistema FRP: Impregnato in situ. I coeff. parziali γ_f e $\gamma_{f,d}$ valgono 1.10 e 1.2

Tipo di delaminazione: non interessa qui in quanto si riferisce ai rinforzi FRP a flessione

$\alpha_a = 0.95$ = Fattore di conversione ambientale scelto per Condizione di esposizione Interna e di tipo di fibra al Carbonio

$E_f = 270000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore

$\gamma_{ff} \cdot f_{fib} = f_{fk} = 2700.0 \text{ N/mm}^2$ = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore

$b_{f,l} = 15 \text{ cm}$ = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$p_f = 20 \text{ cm}$ = passo (interasse) delle fasce

$t_{f,l} = 0.167 \text{ mm}$ spessore di un singolo strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali^[13]:

Tipologia di sezione: Torsione (unico dato da fornire)

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali^[46] (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito pulsante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione:

Griglia dati Calcestruzzi: si modificano i dati del primo rigo della griglia ponendoli uguali a quello del calcestruzzo C20/25:

Classe cls: Rck250

$f_{ck,cubi} = 25.0 \text{ N/mm}^2$ viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

Modulo elastico cls: 31475.0 N/mm^2 (dato ricavato a partire da f_{ck})

$f_{ck} = 20.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$f_{cm} = 20.3 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

FC = 1.2

$f_{cd} = 11.3 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

$f_{ctd} = 1.01 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctm} = 2.21 \text{ N/mm}^2$

Gli altri dati compresi nella riga di input (del calcestruzzo che si sta modificando) non interessano il presente calcolo per cui non è necessario modificarli

Griglia acciai: si tratta anche qui di un acciaio di cui possono assumersi i valori caratteristici dei suoi parametri di calcolo:

Nome acciaio: Feb38k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciaio esistente)

$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$ = modulo elastico dell'acciaio

$f_{ym} = 375.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato)

FC = 1.0

$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (dato assegnato ed utilizzato per il calcolo di resistenza)

$f_{td} = 326.0 \text{ N/mm}^2$ (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo)

in questa applicazione non interessano gli altri dati del calcestruzzo e dell'acciaio

griglia FRP: si modifica la prima riga con i dati correnti (oppure si scrivono i dati su una nuova riga)

Nome rinforzo: CFRP_2

Tipo Applicazione: Tipo A (assegnata)

$E_f = 270000.0 \text{ N/mm}^2$ (assegnato)

$E_{ta} = a = 0.95$ (assegnato)

$E_{taI} = I$ Fattore di conversione ambientale per carichi SLE: non interessa questo calcolo e quindi può essere lasciato il valore già presente

Largh = 15 cm = larghezza singolo tessuto CFRP (assegnato)

Spess. = 0.167 mm spessore singolo strato CFRP (assegnato)

i restanti dati della riga non interessano il presente calcolo e possono essere lasciati immutati

Definizione dati sezione iniziale e rinforzo FRP a torsione

Chiuso l'archivio materiali si passa alla scheda Dati sezione iniziale^[15] in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo ed acciaio.

Nel caso della torsione in questa stessa finestra vanno assegnati sia i dati relativi alle staffe esistenti, sia i dati di progetto del del rinforzo FRP, sia il valore della sollecitazione di torsione in progetto. Il tipo di calcestruzzo e di acciaio sono obbligatoriamente coincidenti con quelli delle prime righe delle corrispondenti griglie della finestra dei dati materiali.

Prudenzialmente si è assegnato il valore 1 alla cotangente dell'angolo Teta delle bielle compresse. Una volta assegnato il raggio di arrotondamento degli spigoli occorre determinare per tentativi il numero di strati e/o il passo delle strisce sufficienti al rinforzo. Se la resistenza del calcestruzzo o delle barre longitudinali non è sufficiente risulta impossibile il rinforzo con FRP in quanto la sua resistenza può sommarsi solo a quella delle staffe.

Dati Generali	Sez.Iniz.	Risultati
Materiali		
Classe calcestruzzo:	Rck250	▼
Tipo acciaio:	Feb38k	▼
Ctg Angolo Teta Bielle cls. $0.4 \leq Ctg(Teta) \leq 2.5$	1.00	
Geometria sezione		
<input checked="" type="radio"/> Sezione rettangolare <input type="radio"/> Sezione circolare <input type="radio"/> Sezione poligonale <input type="checkbox"/> Sezione Cava		
Base (cm)	30.0	
Altezza (cm)	50.0	
Armature a Torsione sezione iniziale		
	8	Passo St. a torsione 25 cm
Area barre longitudinali solo per torsione	12	cm ²
Copriferro barre longitudinali (dal baric.)	4	cm
Armature a Torsione sezione iniziale		
		Scelta rinforzo CFRP_2 ▼
Larghezza striscia (mm)	100	Passo strisce (cm) 20.0
N° strati sovrapposti	3	Raggio spigoli(cm) 4.0
Momento torcente di calcolo		
	T	39.00 kN

Risultati

Si riporta di seguito la stampa completa dei risultati da cui si evince che il solo rinforzo CFRP a torsione incrementa la resistenza delle staffe di 27.75 kNm, le staffe iniziali portano solo 10.99 kNm a fronte della richiesta resistenza di 39.00 kNm.

La resistenza a torsione incrementale prodotta dalla fasciatura FRP ottenuta applicando le CNR2013 risulta quindi leggermente inferiore a quella dedotta dalle vecchie norme LG2009 pari invece a 31.00 kN esposta nel volume da cui è tratto l'esempio.

TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE RETTANGOLARE RINFORZATA CON FRP

NOME FILE SEZIONE: Esempio5.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\lrrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio5.sezfrp)

Descrizione Sezione:	
Normativa di riferimento:	NTC 2018 + CNR-DT200/2013
Forma sezione:	Rettangolare
Base:	30.0 cm
Altezza:	50.0 cm

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	Rck25
	Resistenza media:	20.4 N/mm ²
	Fatt. confidenza cls. FC:	1.20
	Resis. compr. di calcolo fcd :	11.33 N/mm ²
	Resis. compr. ridotta fcd':	5.7 N/mm ²
ACCIAIO -	Tipo:	Feb38k
	Resistenza media acciaio fym:	375.0 N/mm ²
	Fattore confidenza acciaio FC:	1.00
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	326.1 N/mm ²
FRP -	In tessuto per RINFORZO a TORSIONE dispos. in avvolgimento:	CFRP_2
	Calcolo secondo CNR-DT 200 2013	
	Tipo di applicazione:	Tessuto impregnato in situ
	Fattore conversione ambientale EtaA (Tabella 3-2)	0.950
	Modulo elastico del rinforzo Ef:	270000.0 N/mm ²
	Resist. caratt. rottura ffk:	2700.0 N/mm ²
	Deform. caratteristica a rottura e_fk= ffk/Ef	0.0100
	Tens. delam. efficace di progetto (formula [4.22]CNR2013)	443.1 N/mm ²
	Numero strati di tessuto	3
	Larghezza singola striscia tessuto	100 mm
	Spessore singolo strato tessuto	0.17 mm
	Passo strisce:	200 mm
	Raggio curvatura rc arrotondamento spigoli sezione cls. (>=20):	40 mm
	Angolo Beta di disposizione delle fibre:	90°

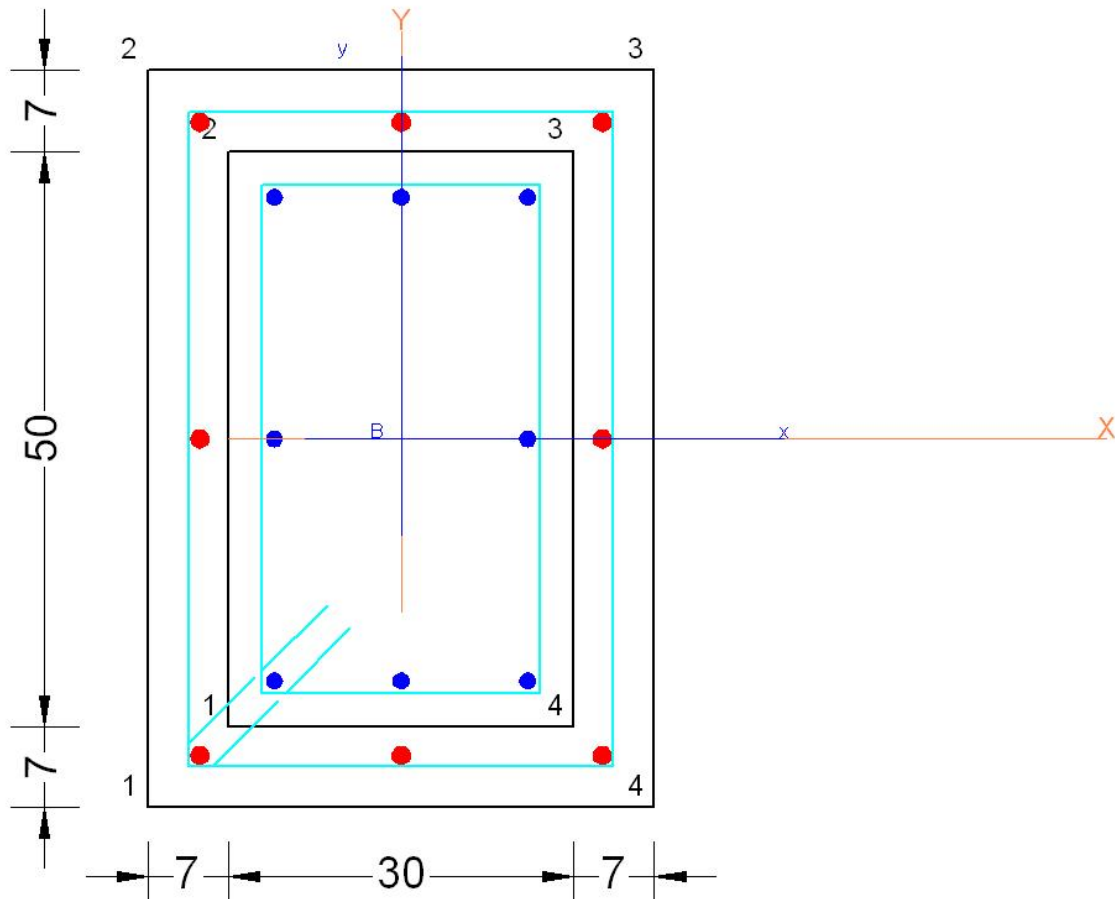
RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE

Momento Torcente Ted di calcolo:	39.00	kNm
Momento Torc. Resist. Trcd sez. tubolare conglom.:	44.51	kNm
Momento Torc. Resist. Trsd sviluppato dalle staffe:	10.99	kNm
Momento Torc. Resist. Trld delle barre longitudinali:	53.53	kNm
Momento Torc. Resist. Trdf del tessuto FRP:	27.75	kNm

Sezione NON verificata a torsione semplice (Ted > Trsd+Trdf)

Area Ac del perimetro esterno sezione:	1500	cm ²
Misura Pc del Perimetro esterno sezione:	160	cm
Spessore sez. anulare resistente:	9.4	cm
Area resistente (racchiusa dal perimetro medio):	838	cm ²
Misura perimetro medio sezione tubolare resist.:	123	cm
Staffe sez. iniziale:	1 Staffa Ø 8 / 25	n°/cm
Area barre longit. sez. iniziale:	12.0	cm ²

11.6 Esempio 6



Si vuole verificare (vedi figura) la sezione iniziale 30x50 di un pilastro rettangolare rinforzata a mezzo di incamiciatura in c.a. nell'ambito di un adeguamento sismico (con fattore di comportamento $q > 1.5$) che prevede le seguenti sollecitazioni di progetto SLU:

$N = 820.00 \text{ kN}$
 $M_x = 125.00 \text{ kNm}$
 $M_y = 26.00 \text{ kNm}$
 $V_x = 340.00 \text{ kN}$
 $V_y = 98.00 \text{ kN}$

Si vuole inoltre verificare la sezione rinforzata per una combinazione SLE quasi permanente:

$N = 520.00 \text{ kN}$
 $M_x = 27.00 \text{ kNm}$
 $M_y = 12.00 \text{ kNm}$

Si stima infine che gli sforzi di esercizio all'atto del rinforzo siano prevalentemente costituiti dal solo sforzo normale: $N=420.00 \text{ kN}$. Per i pilastri incamiciati il § C8.7.4.3.1

NTC prescrive che lo sforzo normale pre-rinforzo sia quello prodotto dai soli carichi permanenti e sia applicato alla sola sezione del pilastro preesistente.

Dati Calcestruzzo sezione iniziale (esistente) denominato fck16:

Si sono eseguite 10 prove per ricavare una resistenza media $f_{cm} = 21.0 \text{ N/mm}^2$ da cui, avendo assunto un fattore di confidenza $FC = 1.35$ e $\gamma_c = 1.5$, si ha:

$$f_{cd} = f_{cm} / (FC \cdot \gamma_c) = 10.4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = f_{cm} - 50 = 16.0 \text{ N/mm}^2 \quad [(EN 13791 \text{ Approccio B per numero di prove } 10 < n < 14)]$$

$$E_c = 22000.0 (f_{cm})^{0.3} = 27480.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 1.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 0.88 \text{ N/mm}^2$$

Coeff. viscosità = $\varphi = 0$ cioè nel calcestruzzo della sezione esistente si suppone del tutto esaurito il fenomeno lento della viscosità (per gli sforzi incrementali)

Dati calcestruzzo della camicia:

Si è scelto un calcestruzzo C25/30 i cui dati, già presenti nell'archivio materiali, sono (vanno usati i valori nominali):

$$f_{cm} = 33.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 14.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 25.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 31475.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1.14 \text{ N/mm}^2$$

Coeff. viscosità = $\varphi = 1.36$ (equivalente a un coeff. di omogeneizzazione $n=15$ ottenuto dalla seguente relazione: $\varphi = n \cdot E_{cm} / E_s - 1$)

Dati acciaio in barre esistente:

I valori medi delle prove hanno confermato i dati sulle caratteristiche dell'acciaio prescritto nel progetto originario ($FC=1$):

Tipo: FeB38k

$$f_{yk} = 375.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 326.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

$epd_{ult} = \epsilon_{ud} = 0.04$ deformazione ultima di calcolo accettabile per un acciaio esistente

Dati acciai nuovi in barre nella camicia (sia per barre longitudinali che per staffe):

Si utilizzano i dati nominali dell'acciaio B450C già presenti nell'archivio materiali

Tipo: B450C

$$f_{yk} = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

$$epd_{ult} = \epsilon_{ud} = 0.0675$$

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali¹³:

Tipologia di sezione: Rettangolare o Circolare di pilastro

Caratteristiche della sezione: Pilastro (non modificabile)

Posizione sezione: sezione in zona nodale (sezione in zona critica)

Percorso di sollecitazione: $N = \text{costante}$. Percorso quasi sempre utilizzato specie in calcoli sismici (tranne nel caso di rinforzo di pilastri con piccolissima eccentricità dei carichi).

Apertura fessure riferita alla zona efficace (verifica più conservativa)

Condizioni ambientali Ordinarie: per la verifica SLE (trattandosi di pilastro di edificio in ambiente urbano non aggressivo)

Dati Generali
Sez.Iniz.
Sforzi
Risultati

Geometria e calcestruzzo sezione iniziale

Forma Dominio Corrente

Sezione Rettangolare
 Sezione Circolare

Calcestruzzo: fck16

Lato X Pilastro (cm) 30.0

Lato Y Pilastro (cm) 50.0

ARMATURE

Acciaio barre longitudinali Feb38k

Barre nei vertici dei domini poligonali (cm)

Nessuna 1 barra per oani vertice
 3 barre per oani vertice

Diam.(mm) 14 Coprif.(cm) 4

Barre nei Vertici + Barre Isolate

n°	x [cm]	y [cm]	∅ [mm]
1	-11	-21	14
2	-11	21	14
3	11	21	14

Generazioni lineari di barre

N° gen.	Barra Iniz.	Barra Finale	N° Barre	∅ (mm)
1	1	4	1	14
2	2	3	1	14
3	1	2	1	14

Legature esistenti

Diam.(mm) 8

N°	Barra N°	Barra N°
1		
2		
3		

∅ (mm) 8

Passo (cm) 15.0

Input Staffe multiple

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati prima descritti dei materiali nell'Archivio materiali⁴⁶⁾ (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito plusante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione):

griglia dati Calcestruzzi: come sempre il dati del calcestruzzo esistente vanno inseriti nella prima riga della griglia. I dati nominali del calcestruzzo aggiunto sono già presenti nella griglia e quindi non occorre digitare nulla.

griglia dati Acciai: come sempre il dati dell'acciaio esistente vanno inseriti nella prima riga della griglia. I dati nominali dell'acciaio di rinforzo B450C sono già presenti nella griglia e quindi non occorre digitare nulla.

Input sezione iniziale

La sezione iniziale è costituita da un solo dominio assegnato tramite le coordinate dei suoi 4 vertici e il tipo di calcestruzzo (è stato selezionato il primo tipo assegnato nella griglia dell'archivio materiali⁴⁶⁾). Sono state inoltre assegnate le barre esistenti: $8\Phi 14$

(4 agli spigoli con copriferro 4 cm + le barre intermedie assegnate tramite generazione automatica). Sono infine state assegnate le staffe esistenti ($1\Phi 8/20\text{cm}$).

Input rinforzi

Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio Tessuti/Lamine FRP

Camicia rettangolare aggiunta

Scelta Calcestruzzo aggiuntivo

Sez. Incamiciata Spess. (cm) Coprif. (cm)

Rinforzi con barre longitudinali in acciaio

Barre longitudinali in acciaio aggiunte

Barre passanti oltre i nodi (incremento resistenza flessione)
 Barre non passanti oltre i nodi (solo per confinamento)

Acciaio per Barre Longit. e/o Staffe aggiunte

N°	Ø [mm]	X [cm]	Y [cm]	
9	16	-17.5	0.0	▲
10	16	17.5	0.0	▼

Lamine (Placcaggio a flessione) in acciaio aggiunte sui lati

Acciaio per Lamine di placcaggio

N°	Largh. [cm]	Spess. [cm]	1° Vertice	2° Vertice	
1					▲
2					▼

Rinforzi con staffe trasversali in acciaio

Staffe chiuse (2 bracci) in acciaio per taglio e confinamento

Diam, mm Passo, cm Acciaio

Input/Modifica Staffe aggiuntive


Per generare la camicia basta selezionare la corrispondente opzione e lo spessore in cm. Va quindi selezionata la fondamentale opzione di barre passanti oltre i nodi che presuppone il collegamento delle nuove barre a quelle del piano limitrofo (tramite filettatura e manicotti di collegamento). Le nuove barre e il calcestruzzo della camicia collaborano dunque a pressoflessione con la vecchia sezione.

Vengono quindi assegnate diametro e coordinate delle nuove barre insieme al nuovo tipo di acciaio già presente nell'archivio materiali.

Vengono infine assegnate le fondamentali nuove staffe di confinamento della camicia ($1\Phi 8/5\text{cm}$) che avranno il compito di sostituire del tutto la resistenza a taglio delle vecchie staffe ed anche quello di incrementare, per confinamento, la resistenza del vecchio calcestruzzo.

Sforzi

Tipo di flessione

RETTA DEVIATA 

Sforzi di esercizio pre-rinforzo (per soli carichi permanenti)

N [kN] Mx [kNm] My [kNm]

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	1

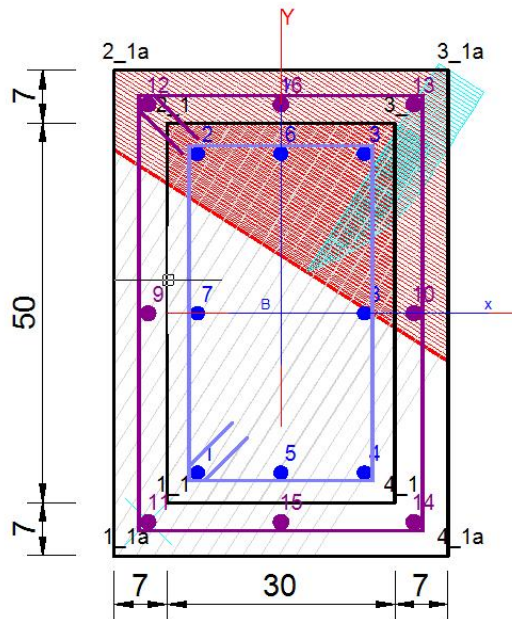
Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vy [kN]	Vx [kN]	
1	820.00	149.00	35.00	340.00	98.00	^
2						
3						

Si è scelta l'opzione di flessione deviata e si è riportato lo sforzo N iniziale di esercizio (trascurando i piccoli valori del momento flettente presente prima del rinforzo). Sono state assegnate una combinazione SLU (in figura) ed una comb. quasi permanente in esercizio (SLE).

Risultati

Nome sezione: Esempio6.sezfrp Comb. n. 1 (S.L.U.)



Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi Sforzi Risultati Duttilità

sezione verificata

Tipo Combinazione	N° Comb.	Non verific.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	1	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	1	

Combinazione N° **1** COMBINAZIONE VERIFICATA

Fless.Composta (S.L.U.): Misura sicur.=2.547 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi ultimi (assi princ.in.)	Deform. unit. a rottura
N=820.00 kN	Nu=820 kN (820)	e_maxCl=0.0035
Mx=149.00 kNm	MxR=341.45kNm (132)	e_minCl=-0.0049
My=35.00 kNm	MyR=80.74kNm (31)	e_maxFe=0.0026
		e_minFe=-0.0044
	Curv.Ult.=0.0001081 1/cm	AsseNeutro:aX+bY+c=0
	Curv.Sner.=0.000046 1/cm	coeff. a = 0.00005783

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 0.646 [OK se <= 1.0]

Sforzi Dati/Ultimi	Staffe in acciaio
TAGLIO:	Staffe: Af St = 20.11 cm ² /m
Vy = 340.00 kN	Diam.St.agg.: Ø8 (Ø8) mm
Vx = 98.00 kN	Passo St. agg. = 5.0 (15.0) cm
Vsdu=339.68 kN	
VRcd=526.01 kN(271.33)	
VRsd=785.57 kN(52.20)	

Calcola e visualizza

Sezione con tensioni e deformazioni

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata

Dominio Mx-My SLU Sez. Rinforzata + Sez. Iniziale

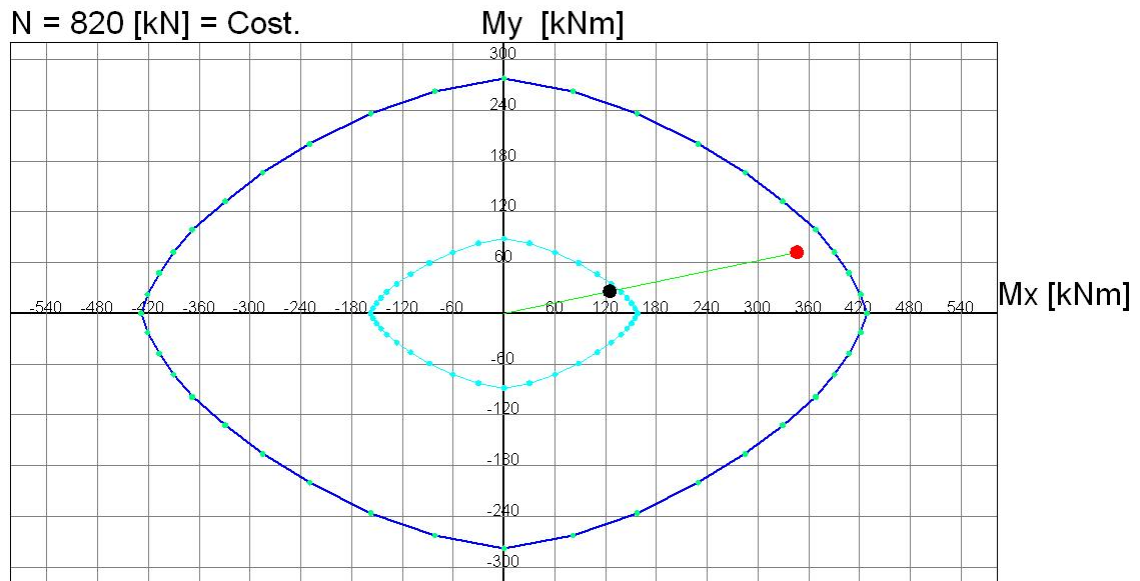
Nella finestra è visibile la sezione visualizzata allo stato limite ultimo con l'indicazione della zona di calcestruzzo compressa ed il relativo diagramma sforzi deformazione (qui ci sono due diversi diagrammi essendo differenti le classi). Nel pannello dei risultati numerici sono immediatamente leggibili le resistenze ultime a flessione e taglio con l'indicazione (tra parentesi) degli sforzi iniziali.

Domini di resistenza

DOMINIO INTERAZIONE Mx-My (STATI LIMITE ULTIMI)

Nome Sezione: Esempio6.sezfrp

Percorso File: C:\LISORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPIO\Esempio6.sezfrp

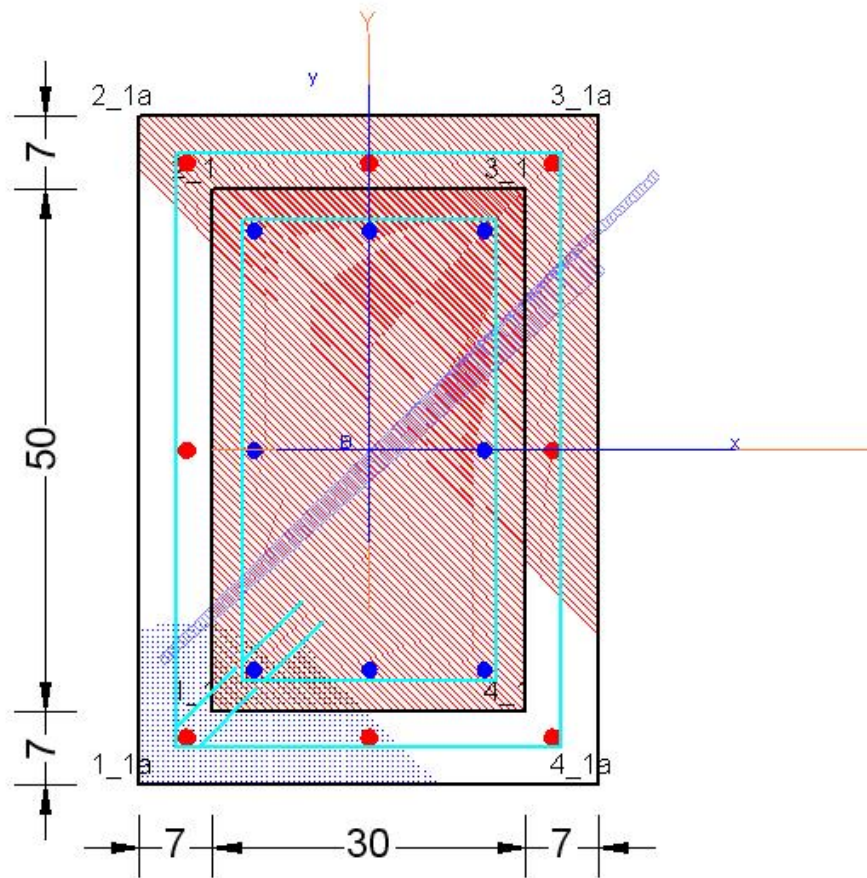
N = 820 [kN] = Cost.

Passo Momenti Mx, My griglia = 60 kNm

Per la combinazione corrente vengono visualizzati (per uno stesso sforzo normale N costante) in sovrapposizione i domini della sola sezione iniziale (in colore ciano) e di quella composta finale con l'indicazione della sollecitazione iniziale assegnata e finale (pallino rosso). Si noti che la sollecitazione ultima è all'interno del dominio e non sul confine a causa della riduzione al 90% della resistenza ultima imposta dalla Circolare NTC. Analoga riduzione è stata effettuata per il taglio ultimo obliquo.

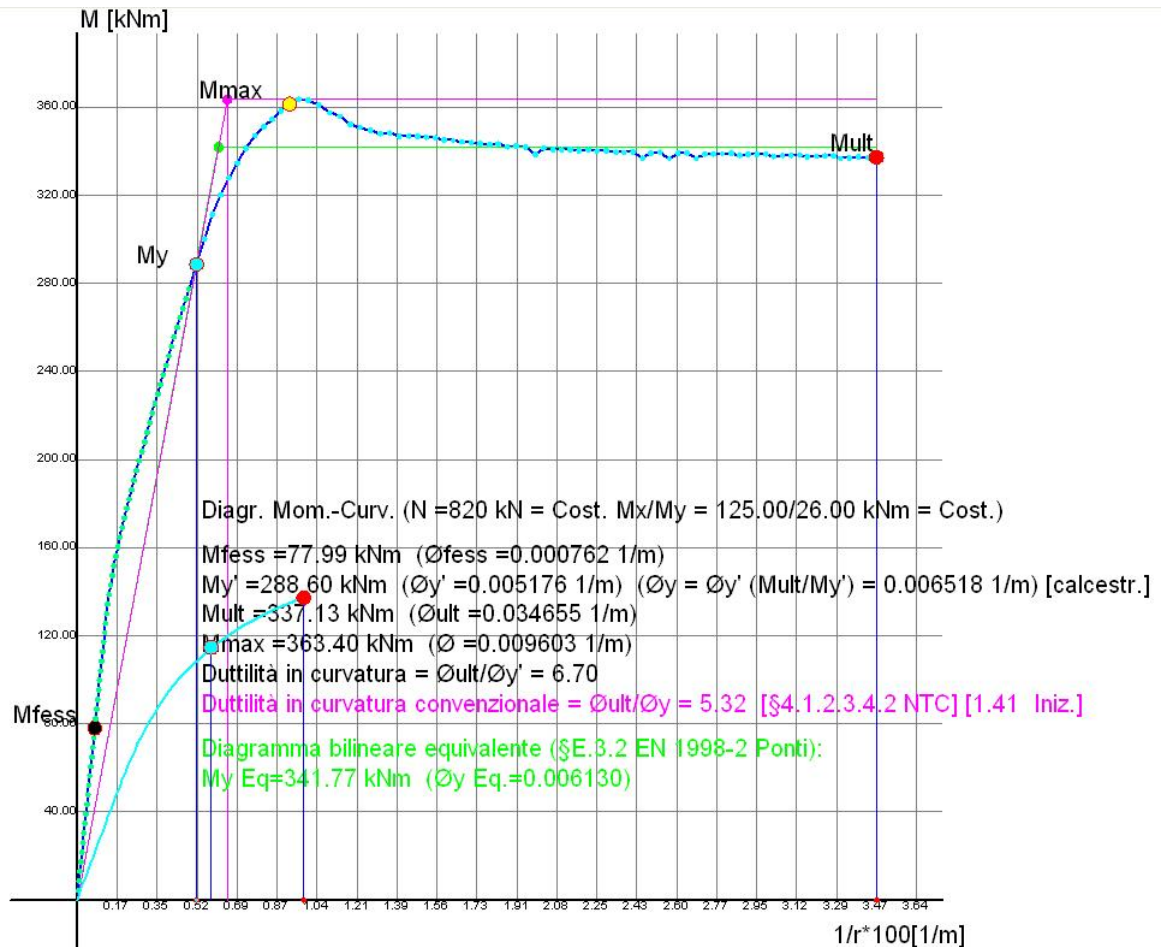
Combinazione SLE

Nome sezione: Esempio6.sezfrp Comb. n. 1 (S.L.E. q.perm)



Si notino come la sezione iniziale e la camicia ammettono differenti assi neutri (e quindi differenti aree compresse). Nell'assegnata combinazione la sezione iniziale resta tutta compressa e solo la camicia si fessura. In blu è evidenziata l'area considerata efficace nella determinazione dell'apertura delle fessure (la brusca interruzione rettilinea è dovuta all'esclusione delle zone di calcestruzzo con deformazione di trazione minori della metà di quella massima).

DIAGRAMMA MOMENTI CURVATURE



Il diagramma momenti curvatures in figura è stato costruito in base ai valori di progetto dei materiali e del confinamento del calcestruzzo esistente operato dalle nuove staffe. Il fattore di duttilità in curvatura ivi dedotto ($\mu_{\phi} = 5.32$) rappresenta la capacità da confrontare con la eventuale domanda espressa dalla (7.4.3)NTC. Il diagramma (a sforzo normale costante) è costruito in flessione deviata mantenendo in tutti i punti lo stesso rapporto Mx/My. L'andamento degradante del diagramma è dovuto alla progressiva rottura del calcestruzzo della camicia non confinata. Contemporaneamente il vecchio calcestruzzo continua a resistere utilizzando una maggiore resistenza (rispetto a quella iniziale) dovuta al confinamento.

Si noti l'enorme differenza tra il diagramma della sezione incamiciata rispetto a quello della sola sezione iniziale (in colore ciano). Questa differenza è notevole non solo in termini di momenti ma anche di duttilità (si passa da un fattore di duttilità di 1.41 a 5.32).

Il programma consente anche il calcolo del diagramma momenti curvatures basato sui valori medi allo scopo della verifica in duttilità delle sezioni in un calcolo pushover.

STAMPA DEI DATI DI INPUT E DEI RISULTATI

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio6.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio6.sezfrp)

Descrizione Sezione:	
Tipologia sezione iniziale:	Sezione rettangolare di pilastro
Lato X sezione [cm]:	30.0
Lato Y sezione [cm]:	50.0
Normativa di riferimento:	C8A.7.1 NTC
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla duttilità	Deformazione materiali fino a rottura
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)
Sezione incamiciata collaborante:	Barre longit. passanti i nodi

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck16		
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0	N/mm ²	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35		
	Resistenza media a compressione fcm:	21.00	N/mm ²	
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	16.00	N/mm ²	
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	10.37	N/mm ²	
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020		
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035		
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo		
	Modulo Elastico secante Ecm:	27480.0	N/mm ²	
	Coeff. Viscosità post-rinforzo (solo S.L.E.) :	0.00		
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	7.20	N/mm ²	
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300	mm	
	Confinamento non considerato nel calcolo di resistenza			
	CALCESTRUZZO -	Classe cls. camicia:	C25/30	
Spessore camicia c.a.:		7.0	cm	
Modulo Elastico secante Ecm:		31475.8	N/mm ²	
Resistenza media a compressione fcm:		33.00	N/mm ²	
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:		25.00	N/mm ²	
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:		14.17	N/mm ²	
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:		0.0020		
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:		0.0035		
Legge tensioni-deformazioni:		Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico secante Ecm:		31475.8	N/mm ²	
Coeff. Viscosità post-rinforzo (solo S.L.E.) :		1.36		
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:		11.25	N/mm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:		0.300	mm	
ACCIAIO -		Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
		Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a snervamento = fym :	375.0	N/mm ²	
	Resist. media a rottura = ftk :	431.3	N/mm ²	
	Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15):	326.1	N/mm ²	
	Rapporti: ftk/fym = ftk/fyk :	1.15		
	Deform. unitaria ultima di progetto Epu:	0.036		
	Modulo Elastico Es	200000.0	N/mm ²	
	Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito		
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 (SLE rare e frequenti):	1.00		
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 (SLE quasi permanenti):	0.50		
	Coeff. K2 nel calcolo fessur. per barre pre-rinforzo ad aderenza migliorata	0.4		

ACCIAIO -	Barre di rinforzo Tipo:	B450C
	Resistenza media a snervamento f_{ym} (per duttilità):	517.5 N/mm ²
	Resistenza media a rottura f_{tm} (per duttilità):	595.1 N/mm ²
	Resistenza caratteristica a snervamento f_{yk} :	450.0 N/mm ²
	Resistenza a snervamento di progetto f_{yd} :	391.3 N/mm ²
	Resistenza a rottura di progetto f_{td} :	391.3 N/mm ²
	Rapporti: $f_{tm}/f_{ym} = f_{tk}/f_{yk}$:	1.15
	Deform. unitaria ultima di progetto E_{pu} :	0.068
	Modulo Elastico E_s	200000.0 N/mm ²
	Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ (SLE rare e frequenti):	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ (SLE quasi permanenti):	0.50
	Coeff. K2 nel calcolo fessur. per barre pre-rinforzo ad adherenza migliorata	0.4

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck16

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-25.0
2	-15.0	25.0
3	15.0	25.0
4	15.0	-25.0

DOMINIO AGGIUNTO N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-22.0	-32.0
2	-22.0	32.0
3	22.0	32.0
4	22.0	-32.0

DOMINIO AGGIUNTO N° 2

Forma del Dominio:	Poligonale vuoto
Classe Conglomerato:	C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-25.0
2	-15.0	25.0
3	15.0	25.0
4	15.0	-25.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-11.0	-21.0	14

2	-11.0	21.0	14
3	11.0	21.0	14
4	11.0	-21.0	14

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE SEZ. INIZIALE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	1	14
2	2	3	1	14
3	1	2	1	14
4	3	4	1	14

DATI NUOVE BARRE DI RINFORZO (Acciaio B450C)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
9	-17.5	0.0	16.0
10	17.5	0.0	16.0
11	-17.5	-27.5	16.0
12	-17.5	27.5	16.0
13	17.5	27.5	16.0
14	17.5	-27.5	16.0
15	0.0	-27.5	16.0
16	0.0	27.5	16.0

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale:	8 mm
Passo staffe sez. iniziale:	15.0 cm
Staffe sez. iniziale:	Una sola staffa chiusa perimetrale

STAFFE DI RINFORZO AGGIUNTE (a 2 bracci)

Diam. Staffe di Rinforzo:	8 mm
Passo Staffe di Rinforzo:	5.0 cm

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO (per soli carichi permanenti § C8.7.4.2.1 NTC)

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico	420.00
Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo	0.00
Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo	0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo. Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
---	--

Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	820.00	149.00	35.00	340.00	98.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Sforzo normale finale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Coppia concentrata finale [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Coppia concentrata finale [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	520.00	27.00	12.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
Mis.Sic.							
1	S	820.00	149.00	35.00	819.93	341.45 (131.91)	80.74 (30.67)
2.547							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)

Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.00350	22.0	32.0	0.00264	17.5	27.5	-0.00441	-17.5	-27.5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

N°Comb	a	b	c
1	0.000057834	0.000091328	-0.000694835

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Vsdu Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 VR Agg Taglio resistente [kN] sviluppato dalle sole staffe aggiuntive. (riduz. al 90% §C8.7.2.5 NTC)
 Vrcd Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
 Vrsd Taglio resistente [kN] assorbito dalle nuove staffe (4.1.18)NTC. + resist. staffe esistenti. (Riduz. 10% §C8.7.2.5 NTC)
 z Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.
 Alfa c Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.

N°Comb	Ver	Vsdu	VR Agg	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	S	339.68	785.57	526.01 (271.33)	785.57 (52.20)	44.4	44.7	2.50	1.205

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - POSIZIONE ASSE NEUTRO

a1, b1, c1 Sez. Iniziale: Coeff. eq. dell'asse neutro $a_0X+b_0Y+c_0=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 a2, b2, c2 Sez. Aggiunta: Coeff. eq. dell'asse neutro $a_1X+b_1Y+c_1=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 a0=0.0000000 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro $a_0X+b_0Y+c_0=0$
 b0=0.0000000 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro $a_0X+b_0Y+c_0=0$
 c0=0.0001870 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro $a_0X+b_0Y+c_0=0$

N°Comb	a1	b1	c1	a2	b2	c2
1	0.0000028	0.0000028	0.0001754	0.0000028	0.0000028	-0.0000116

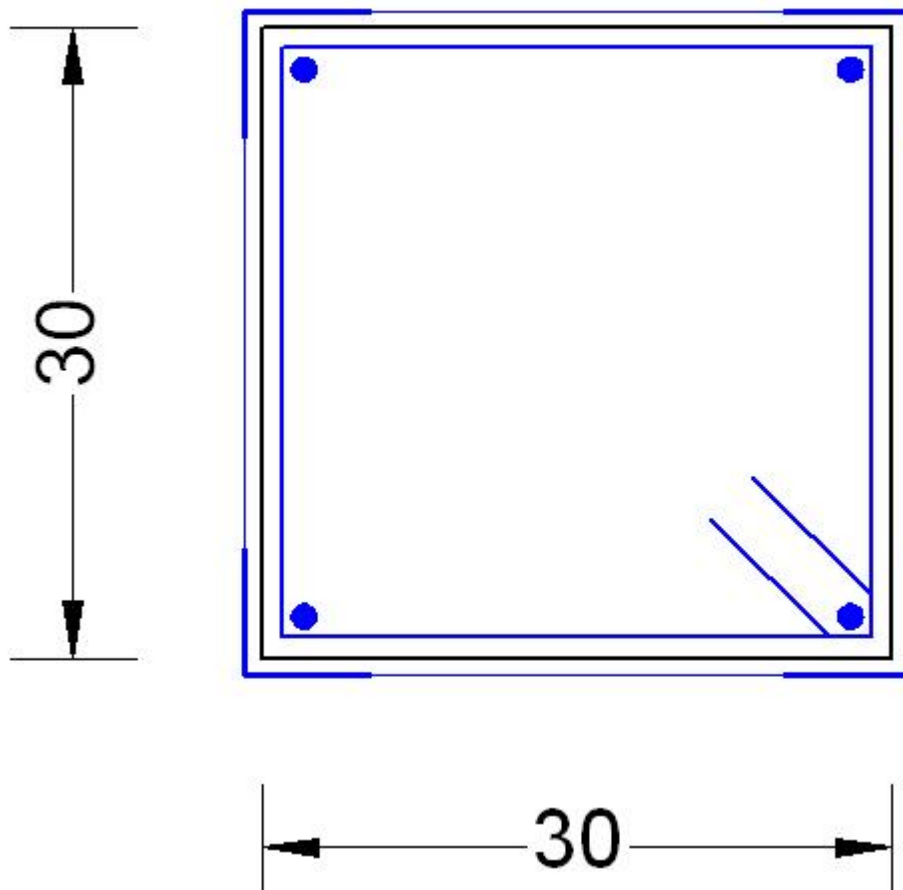
COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (Circolare DM96)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel cls. [N/mm^2]. In parentesi valori pre-rinforzo.
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [N/mm^2]. In parentesi valori pre-rinforzo.

Xs min, Yf min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
Af eff.	Area armature in acciaio [cm ²] ricadente nell'area tesa efficace(per verifica fessurazione)
Srm	Distanza media tra le fessure espressa in mm (§ B.6.6.3 Istruzioni DM96)
K3	Coeff.(§ B.6.6.3 Istruz. DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo § 4.1.2.2.4.6 NTC.

Cmb-Dom	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff. (Afeff.)	Srm	K3	Ap. fess.
1-1	S	5.2(2.5)	15.0	25.0	17.2(374)	-11.0	-21.0	---	---	---	---
1-2	S	1.9	22.0	32.0	-27.4	-17.5	-27.5	237 (4.0)	156	0.125	0.015

11.7 Esempio 7



La sezione in figura è tratta da un esempio di calcolo svolto nell'Allegato alle Linee Guida Reluiss [7^[240]] allo scopo di valutare l'incremento di duttilità nel calcestruzzo e della resistenza a taglio mediante cerchiatura della sezione mediante fasciatura con nastri di acciaio ad alta resistenza (dimensioni 19×0.9 mm) contrastando su profili pressopiegati ad L (dimensioni 60×6 mm) interrotti in corrispondenza delle travi. (Nel

caso di pilastro d'angolo il pressopiegato posto sull'angolo esterno può essere reso continuo, anche lungo i nodi, allo scopo di migliorare l'efficienza del confinamento). Si tenga presente che allo stato attuale le norme non prevedono la partecipazione dei profili in acciaio alla resistenza flessionale.

La sezione è armata con $4\Phi 12$ longitudinali e con staffe $\Phi 8/20\text{cm}$. Il copriferro è di 2cm.

Si stima infine che gli sforzi di esercizio all'atto del rinforzo siano prevalentemente costituiti dal solo sforzo normale: $N=150.00\text{ kN}$.

Le sollecitazioni della combinazione SLU sono: (dati non forniti nell'esempio ma utili per consentire un calcolo completo sia di resistenza che di duttilità della sezione):

$$N = 200.00\text{ kN}$$

$$M_x = 36.00\text{ kNm}$$

Dati Calcestruzzo sezione iniziale (esistente):

Dalle prove eseguite (o dai certificati originali) si è ottenuta per il calcestruzzo la resistenza media $f_{cm} = 15.0\text{ N/mm}^2$ da cui, avendo assunto un fattore di confidenza $F_c = 1.35$ e $\gamma_c = 1.5$, si ha:

$f_{cd} = f_{cm} / (F_c \cdot \gamma_c) = 7.4\text{ N/mm}^2$. Questo valore è stato maggiorato per tenere in conto il confinamento del calcestruzzo nelle verifica di resistenza a pressoflessione e taglio.

Ai soli fini del calcolo di duttilità (basato sui valori di progetto dei materiali) la resistenza da incrementare viene assunta pari al valore dell'esempio citato e cioè pari a f_c (meccanismi duttili):

$$f_{cc} = f_{cm} / F_c = 15.0 / 1.35 = 11.1\text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 25000.0\text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 1.49\text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 0.7\text{ N/mm}^2$$

Dati acciaio in barre esistente:

Dai certificati originali si sono assunti i seguenti dati relativamente caratteristiche dell'acciaio in barre esistente:

Tipo: Feb38k

$$F_C = 1$$

$$f_{ym} = 375.0\text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 355.0\text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0\text{ N/mm}^2$$

$\text{epd}_{ult} = \mu_d = 0.04$ deformazione ultima di calcolo accettabile per un acciaio esistente

Dati acciaio nastri ad alta resistenza per il confinamento (i profili pressopiegati ad L non intervengono nel calcolo):

Tipo: Nastri

$$f_{yk} = 612.0\text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 532.0\text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0\text{ N/mm}^2$$

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali¹³¹:

Tipo di sezione: Predefinita (in questo caso si sarebbe potuto anche assegnare la tipologia di sezione rettangolare di pilastro ed operare in presso flessione deviata)

Posizione sezione: sezione in zona nodale (sezione in zona critica)

Percorso di sollecitazione: $N = \text{costante}$. Percorso quasi sempre utilizzato specie in calcoli sismici (tranne nel caso di rinforzo di pilastri con piccolissima eccentricità dei carichi).

Apertura fessure riferita alla zona efficace (verifiche SLE non previste in questo esempio)

Condizioni ambientali Ordinarie: (verifiche SLE non previste in questo esempio)

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali^[46] (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito plusante nella barra superiore della finestra principale dell'applicazione. Nella prima riga (colore ciano) della griglia dati calcestruzzi vanno inseriti i dati, prima definiti, del calcestruzzo esistente. Lo stesso dicasi per i dati sull'acciaio delle barre esistenti da inserire nella prima riga della griglia acciai.

I dati dell'acciaio dei nastri verranno inseriti nella scheda degli acciai.

Definizione dati sezione iniziale

La scheda Dati sezione iniziale^[15] va riempita con i semplici dati della sola sezione iniziale in studio come già fatto nei precedenti esempi.

Input rinforzi

Incamicatura con angolari e Bande/Nastri in acciaio			
<input type="radio"/> No Incamicatura	Acciaio Bande/ Nastri	Nastri	
<input checked="" type="radio"/> Si Incamicatura			
Larghezza bande (cm)	1.9	Passo bande (cm)	5.0
Spessore bande (cm)	0.09	Raggio spigoli (cm)	2.0

Della scheda rinforzi vanno riempiti i soli campi relativi alla definizione delle Bande/Nastri. I dati inseriti corrispondono a quelli precedentemente descritti con la precisazione che le Istruzioni NTC [2]^[240] suggeriscono di assumere come raggio di arrotondamento degli spigoli il minore tra la lunghezza del lato degli angolari e 5 volte lo spessore degli stessi (qui $5 \times 0.6 = 3$ cm).

Risultati

Dati Generali Sez.Iniz. Rinforzi Sforzi **Risultati** Duttilità

sezione verificata

Tipo Combinazione	N° Comb.	Non verific.
S.L.U. Comb.Ultime (Calcolo Resistenza)	1	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	0	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	0	

Combinazione N° **1** COMBINAZIONE VERIFICATA

Fless.Composta (S.L.U.): Misura sicur.=1.232 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi ultimi (assi princ.in.)	Deform. unit. a rottura
N=200.00 kN	Nu=200 kN (200)	e_maxCIs=0.0125
Mx=36.00 kNm	MxR=44.36kNm (42)	e_minCIs=-0.0395
My=0.00 kNm	MyR=0.00kNm (0)	e_maxFe=0.0089
		e_minFe=-0.0361
	Curv.Ult.=0.0017323 1/cm	AsseNeutro:aX+bY+c=0
	Curv.Snerr.=0.000136 1/cm	coeff. a =0.00000000

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 0.716 [OK se <= 1.0]

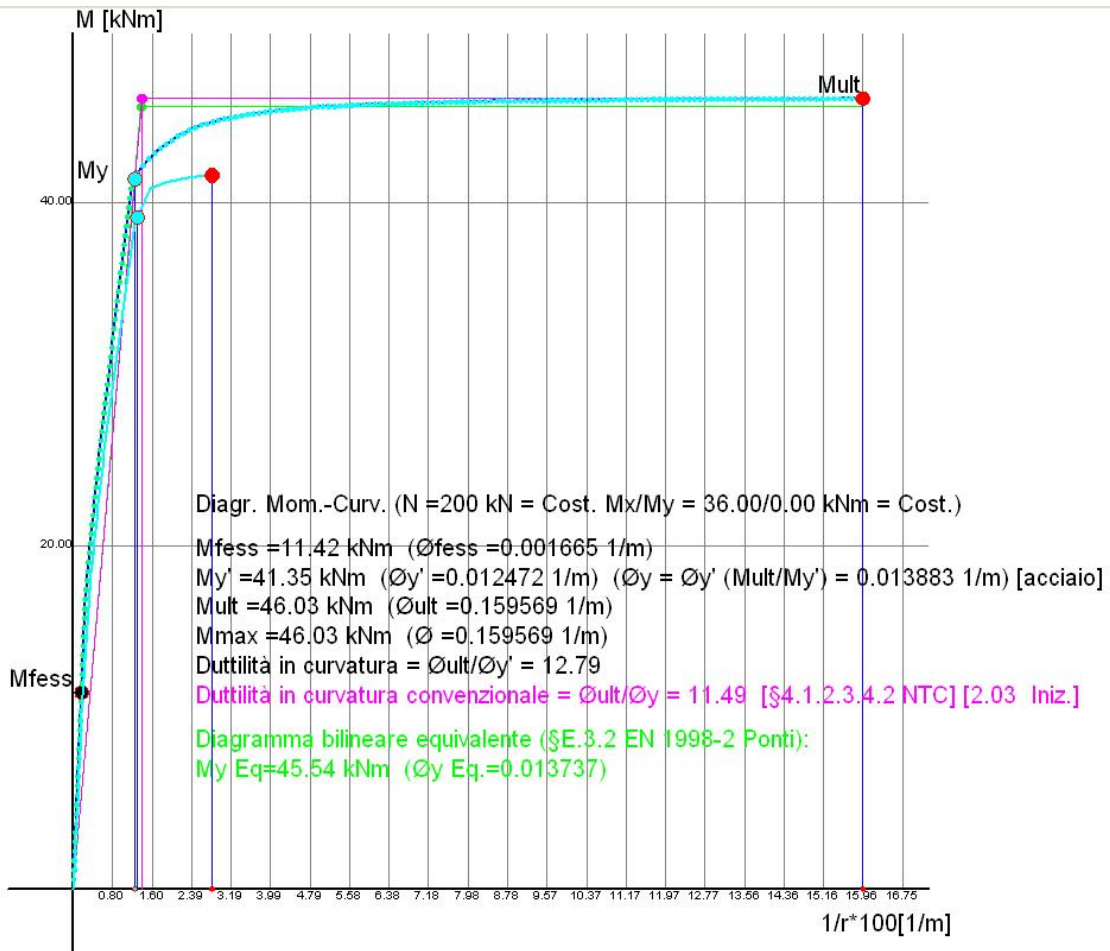
Sforzi Dati/Ultimi	Staffe in acciaio
TAGLIO:	Staffe: Af St = 0.00 cm ² /m
Vy = 100.00 kN	
VSdu=100.00 kN	
VRcd=139.56 kN(130.92)	
VRsd=175.45 kN(84.07)	
VwBande=91.38 kN	

Nel pannello dei risultati a video si nota come la resistenza a flessione dopo il rinforzo è leggermente incrementata per effetto del confinamento (da 41.63 a 44.36 kNm). Anche la resistenza a taglio VRcd lato calcestruzzo è variata di poco (da 130.92 a 139.56 kN). Quella relativa alle armature trasversali VRsd è passata da 84.07 kN delle staffe iniziali a ben 175.45 kN giovandosi dell'incremento di resistenza dovuto ai nastri (91.38 kN). Nelle opzioni di calcolo è stato impostato il valore di 2 (<2.5) come valore massimo della cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni.

Se il taglio di progetto VSdu fosse stato maggiore di VRcd il programma automaticamente determina il valore di α (fino al limite minimo di $\alpha = 1$) di equilibrio e, a cascata, le nuove resistenze.

DUTTILITA' DELLA SEZIONE RINFORZATA

Selezinando l'ultima scheda Staffe-Duttilità si ottiene il seguente diagramma momenti-curvature della sezione cerchiata (utilizzando i valori di resistenza dei materiali) e, per confronto, anche quello della sezione non rinforzata.



Nel grafico è anche riportato il diagramma relativo alla sezione non confinata esistente: si noti il forte incremento del fattore di duttilità in curvatura prodotto dal progettato confinamento (da 2.03 a 11.49).

I dati relativi all'incremento di resistenza e deformazione a rottura del calcestruzzo sono rilevabili dalla stampa dei seguenti risultati inerenti tra l'altro all'incremento di resistenza a taglio.

Ai fini del confronto dei risultati l'esempio è stato svolto in pressoflessione retta. Il programma consente il calcolo anche per sollecitazioni di momento e taglio deviate.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio7.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\lrrit\Desktop\SEZ_CAIA_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio7.sezfrp)

Descrizione Sezione:

Tipologia sezione iniziale:	Sezione rettangolare di pilastro
Lato X sezione [cm]:	30.0
Lato Y sezione [cm]:	30.0
Normativa di riferimento:	C8A.7.2 NTC
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla duttilità	Deformazione materiali fino a rottura
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck11	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25000.0	N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
	Resistenza media a compressione fcm:	15.00	N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	11.11	N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	7.41	N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25000.0	N/mm ²
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a snervamento = fym :	408.2	N/mm ²
	Resist. media a rottura = ftm :	469.4	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15):	355.0	N/mm ²
	Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :	1.15	
	Deform. unitaria ultima di progetto Epu:	0.036	
	Modulo Elastico Es	200000.0	N/mm ²
	Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito	
CERCHIAT. -	Con angolari e bande in acciaio del tipo:	Nastri	
	Resistenza snervamento di progetto bande fy d:	532.0	N/mm ²
	Resistenza cls. confinato fcc [(C.8A.7.6) NTC]:	14.2	N/mm ²
	Deformazione ultima cls. confinato Epcu [(C.8A.7.8) NTC]:	0.0232	
	Fattore efficienza Alfa_n [(C.8A.7.7a) NTC]:	0.499	
	Fattore efficienza Alfa_s [(C.8A.7.7b) NTC]:	0.899	
	Rapporto volum. armatura trasversale Ro_s:	0.0046	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck11

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-15.0
2	-15.0	15.0
3	15.0	15.0
4	15.0	-15.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-13.0	-13.0	12
2	-13.0	13.0	12
3	13.0	13.0	12
4	13.0	-13.0	12

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale: 8 mm

Passo staffe sez. iniziale: 20.0 cm
 Staffe sez. iniziale: Una sola staffa chiusa perimetrale

DATI CERCHIATURA DI RINFORZO CON BANDE/NASTRY

Larghezza bande/nastri 1.9 cm
 Spessore bande/nastri 0.1 cm
 Passo bande/nastri 5.0 cm

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico 150.00
 Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo 0.00
 Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo 0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.
 N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	200.00	36.00	0.00	100.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
 My ult Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	200.00	36.00	0.00	199.90	44.36 (41.63)	0.00 (0.00)
1.232							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.01250	-15.0	15.0	0.00892	-13.0	13.0	-0.03612	-13.0	-13.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

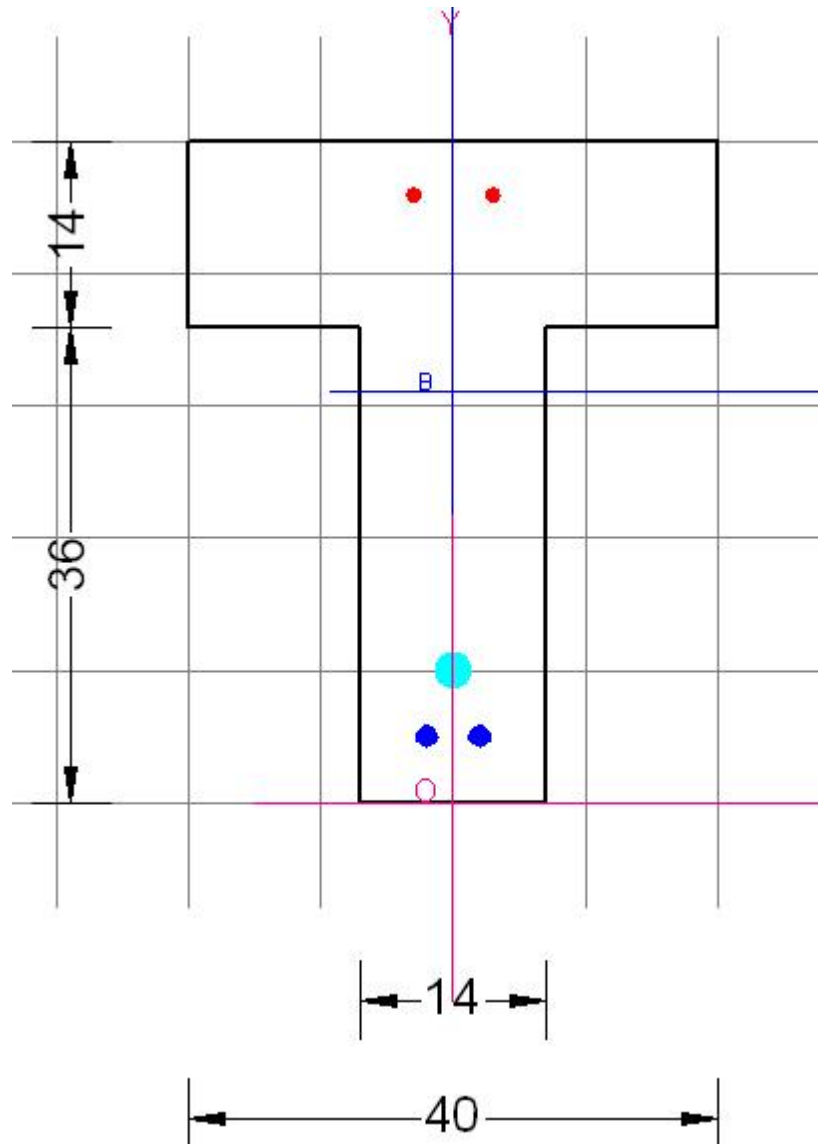
N°Comb	a	b	c
1	0.000000000	0.001732298	-0.013480122

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [kN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
VR Bande	Taglio resistente [kN] sviluppato dalla sola cerchiatura con bande o nastri
Vrcd	Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. + Taglio resist. cerchiatura
Vrw	Taglio resistente [kN] assorbito dalla sola cerchiatura in acciaio
z	Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.
Alfa c	Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.

N°Comb	Ver	Vsdu	VR Bande	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	S	100.00	91.38	139.56 (130.92)	175.45 (84.07)	25.1	30.0	2.00	1.250

11.8 Esempio 8



La sezione in figura, tratta dal volume [15^[240]], è precompressa con 6 trefoli (di 7 fili ciascuno) con area complessiva $A_p = 6 \times 0.93 = 5.58 \text{ cm}^2$ posta a cm 10 dalla fibra di intradosso. La sezione è inoltre dotata di armatura ordinaria inferiore $A_s = 4 \text{ cm}^2$ (copriferro 5 cm) costituiti da $2\Phi 16$. Anche se non presenti nel testo citato si sono inseriti $2\Phi 10$ poco influenti nel calcolo (ricadendo in zona compressa) ma sicuramente presenti in una sezione reale.

Una delle possibilità offerte dal programma è quella di poter effettuare un calcolo di predimensionamento per sezioni precomprese anche se non rinforzate (come in questo caso).

Dati assegnati relativi al calcestruzzo:

sono quelli nominali di un calcestruzzo di classe C50/60:

$$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 28.3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 50.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati nominali assegnati relativi all'acciaio di precompressione (diagramma bilatero con incrudimento):

$$f_{pk} = 1770.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = f_{p0.1k} = 0.9 \times 17700 = 1593.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{pd} = 1593.0 / 1.15 = 1385.0 \text{ N/mm}^2$$

$$u_k = 0.0035$$

$$u_d = 0.9 \times 0.0035 = 0.00315$$

$$E_s = 195000.0 \text{ N/mm}^2$$


Dati nominali assegnati relativi alle barre in acciaio lento tipo B450C:

$$f_{yk} = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{td} = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Input dati generali nel programma e dati sui materiali

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali :

Tipo di sezione: Predefinita (le sezioni precomprese sono previste solo nella categoria delle sezioni predefinite in flessione retta)

Posizione sezione: sezione intermedia

Percorso di sollecitazione: N = costante. E' il valore di default che solo raramente va modificato (ad es. per pilastri con piccolissima eccentricità dello sforzo normale)


Gli altri dati di questa scheda hanno il consueto significato.

Nell'archivio materiali si inseriscono (se non già presenti) i dati nominali prima indicati (trattandosi di materiali tutti nuovi) del calcestruzzo e degli acciai.

Input dati sezione

Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi Sforzi Risultati

Sezione predefinita iniziale

Sezione Precompressa 

T / T rovescia

C50/60

Dati sezione calcestruzzo (in cm)

Bi

Hi

Bs

Hs

Armature lente

B450C

cm

cm

Barre Inferiori

n° Ø mm n° Ø mm

Barre Superiori

n° Ø mm n° Ø mm


Staffe

1 Staffa chiusa Braccio intermedio Senza Staffe

2 Staffe chiusa

Diam. (mm) Passo (cm)

Armature di precompressione (Tensioni Sigma in N/mm²)

Tipo Acciaio: 

Ec tiro (N/mm²)

fck tiro (N/mm²)

Armature post-tese Ø equiv. (mm)

N°	Ap [cm ²]	Y [cm]	Sigma tiro	Sigma fin.	
1	5.58	10.0	1050.0	975.0	▲
2					
3					▼

Trattandosi di sezione precompressa va anzitutto selezionata la casella Sez.Precompressa.. Quindi si sceglie la forma della sezione (T) e si assegnano i dati geometrici ed i nomi attribuiti al calcestruzzo e agli acciai nell'archivio materiali. Nella sezione più bassa di questa finestra vanno assegnati i dati indispensabili per la verifica al tiro e finale della sezione precompressa:

E_c tiro = Modulo elastico effettivo [N/mm²] del cls. al momento del tiro. Serve solo nella verifica al tiro. Volendo invece imporre ad es. un coeff. di omogeneizzazione pari a $n=6$ basterà imporre $E_c = E_{ap}/6$ dove E_{ap} è il modulo elastico dell'acciaio armonico assegnato nella finestra Dati Materiali. Questo valore di E_c viene utilizzato solo nel calcolo delle tensioni al tiro (svolto dal programma col metodo n)

f_{ck} tiro = Resistenza caratteristica [N/mm²] del calcestruzzo da precomprimere valutata nel momento delle operazioni di del tiro. Viene impiegata per valutare la tensione ammissibile al tiro secondo la (4.1.45) NTC.

\emptyset equiv.[mm]: diametro equivalente dell'acciaio armonico; viene utilizzato nel calcolo dell'apertura delle fessure per tener conto della effettiva efficacia delle armature precomprese pre-tese. Il § 6.8.2 dell'EC2 fornisce $\emptyset_{equiv.} = 1.75 \emptyset_w$. Per trefoli a 7 fili aventi diametro del filo pari a \emptyset_w : $\emptyset_{eq.} = 1.2 \emptyset_w$ per trecce a 3 fili aventi diametro del filo pari a \emptyset_w .

σ_{tiro} [N/mm²] = $\sigma_{pi} = 1050.0$ N/mm² = tensione al tiro dell'acciaio aderente. Deve rispettare i limiti della (4.1.47) NTC. Nel volume da cui è tratto il presente esempio non viene indicata la tensione al tiro in quanto non viene effettuata la relativa verifica.

σ_{fin} [N/mm²] = 975.0 N/mm² = tensione nell'acciaio aderente a perdite scontate. Le perdite (per viscosità, ritiro,rilassamento),vanno calcolate esternamente al programma. Per le sezioni cap pre-tese tra le perdite non vanno inserite quella per deformazione elastica della sezione al tiro. Nel caso di armature post-tese la deformazione elastica della sezione si ritiene già inclusa nella tensione assegnata a perdite scontate.

Armat. post-tese. Selezionando questa casella non vengono calcolate in automatico dal programma le perdite di tensione al tiro nelle armature aderenti per effetto della deformazione elastica del cls. al tiro. Dopo il tiro entrambi i tipi di armature sensibili sono considerate perfettamente aderenti al cls. precompresso.

Input Sforzi

Tipo di flessione

RETTA ?

Sforzi al tiro (esclusi sforzi di precompressione)

N [kN] Mx [kNm] ?

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm]

Tipo di combinazione

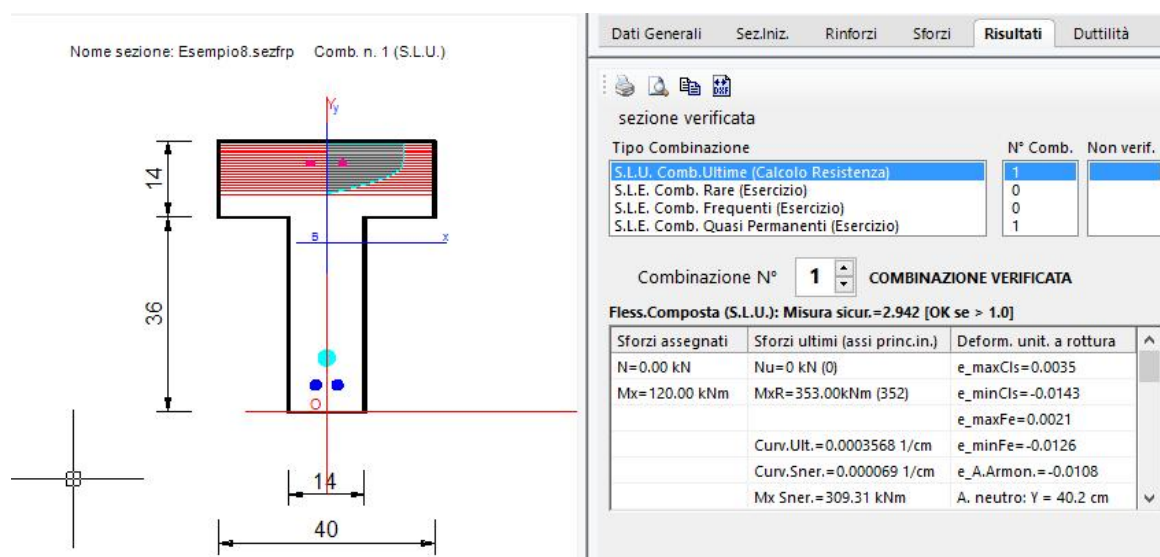
Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	1

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (referim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	0.00	120.00	0.00
2			

Vanno assegnati gli sforzi al tiro (di solito dovuti al solo peso proprio della trave), quelli presenti prima del rinforzo (non previsti in questo esempio) ed infine gli sforzi finali (SLU e SLE) che in questo caso sono solo indicativi essendo lo scopo principale del calcolo quello di calcolare il momento resistente. A scopo dimostrativo è stata inserita una combinazione SLE quasi permanente (vedi stampe di output più avanti).

Risultati



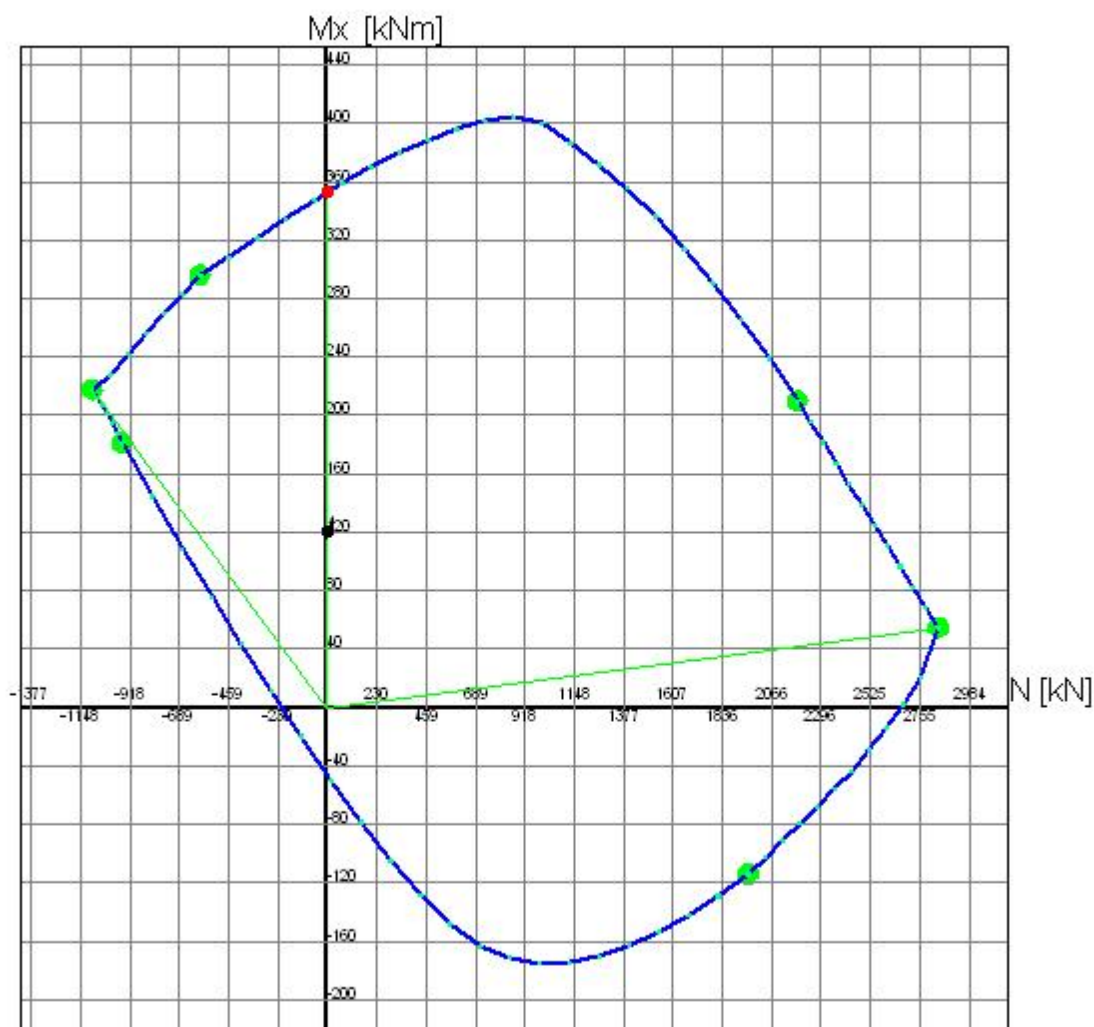
Il momento resistente è valutato pari a 353.00 kNm molto vicino rispetto a quello (354.00 kNm) indicato nel volume da cui è tratto l'esempio che del resto utilizza come legge di resistenza del calcestruzzo lo stress-block.

Si riporta il dominio di resistenza e la stampa dei risultati comprendenti sia la verifica finale SLU a flessione che quella al tiro e quella di una comb. SLE.

DOMINIO N-Mx SLU

Nome Sezione: Esempio8.sezfrp

Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\WB98\RC_SEC_FRP_NEW\ESEMPI\esempio8.sezfrp



Passo Momenti Mx griglia = 40 kNm

Passo Sforzo Normale N = 230 kN

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio7.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CAIA_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio7.sezfrp)

Descrizione Sezione:

Tipologia sezione iniziale:

Sezione rettangolare di pilastro

Lato X sezione [cm]:

30.0

Lato Y sezione [cm]:

30.0

Normativa di riferimento:

C8A.7.2 NTC

Percorso sollecitazione:

A Sforzo Norm. costante

Riferimento Sforzi assegnati:

Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale

Riferimento alla duttilità

Deformazione materiali fino a rottura

Posizione sezione nell'asta:

In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck11	
	Modulo Elastico secante E_{cm} :	25000.0	N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
	Resistenza media a compressione f_{cm} :	15.00	N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	11.11	N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) f_{cd} :	7.41	N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) ϵ_{pc0} :	0.0020	
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) ϵ_{pcu} :	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante E_{cm} :	25000.0	N/mm ²
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a snervamento = f_{ym} :	408.2	N/mm ²
	Resist. media a rottura = f_{tm} :	469.4	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto $f_{yd} = f_{ym} / (FC * 1.15)$:	355.0	N/mm ²
	Rapporti: $f_{tm} / f_{ym} = f_{tk} / f_{yk}$:	1.15	
	Deform. unitaria ultima di progetto ϵ_{pu} :	0.036	
	Modulo Elastico E_s :	200000.0	N/mm ²
	Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito	
CERCHIAT. -	Con angolari e bande in acciaio del tipo:	Nastri	
	Resistenza snervamento di progetto bande f_{yd} :	532.0	N/mm ²
	Resistenza cls. confinato $f_{cc} [(C.8A.7.6) NTC]$:	14.2	N/mm ²
	Deformazione ultima cls. confinato $\epsilon_{pcu} [(C.8A.7.8) NTC]$:	0.0232	
	Fattore efficienza $\alpha_n [(C.8A.7.7a) NTC]$:	0.499	
	Fattore efficienza $\alpha_s [(C.8A.7.7b) NTC]$:	0.899	
	Rapporto volum. armatura trasversale R_{o_s} :	0.0046	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck11

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-15.0
2	-15.0	15.0
3	15.0	15.0
4	15.0	-15.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-13.0	-13.0	12
2	-13.0	13.0	12
3	13.0	13.0	12
4	13.0	-13.0	12

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale: 8 mm
 Passo staffe sez. iniziale: 20.0 cm
 Staffe sez. iniziale: Una sola staffa chiusa perimetrale

DATI CERCHIATURA DI RINFORZO CON BANDE/NASTR

Larghezza bande/nastri 1.9 cm
 Spessore bande/nastri 0.1 cm
 Passo bande/nastri 5.0 cm

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico 150.00
 Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo 0.00
 Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo 0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	200.00	36.00	0.00	100.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata							
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)							
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)							
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)							
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000							

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	200.00	36.00	0.00	199.90	44.36 (41.63)	0.00 (0.00)
1.232							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs	min
1	0.01250	-15.0	15.0	0.00892	-13.0	13.0	-0.03612	-13.0	-13.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

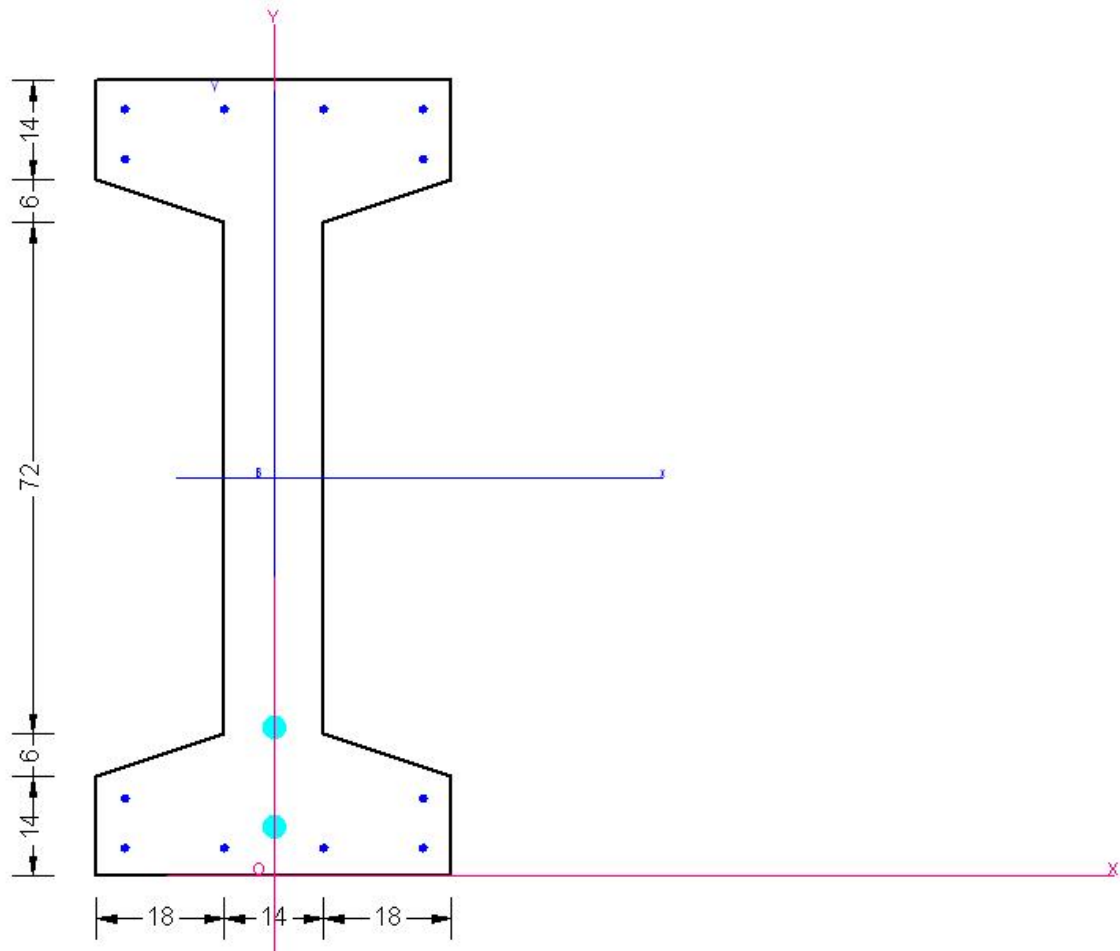
N°Comb	a	b	c
1	0.000000000	0.001732298	-0.013480122

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [kN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
VR Bande	Taglio resistente [kN] sviluppato dalla sola cerchiatura con bande o nastri
Vrcd	Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. + Taglio resist. cerchiatura
Vrw	Taglio resistente [kN] assorbito dalla sola cerchiatura in acciaio
z	Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.
Alfa c	Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.

N°Comb	Ver	Vsdu	VR Bande	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	S	100.00	91.38	139.56 (130.92)	175.45 (84.07)	25.1	30.0	2.00	1.250

11.9 Esempio 9



La sezione precompressa non rinforzata in figura è tratta, al solo scopo di confronto, da due esempi presenti nel programma VcaSlu (by prof. P. Gelfi).

La sezione è precompressa con 2 cavi ciascuno di area $A_p = 8.40 \text{ cm}^2$ posti a cm 7 e cm 21 dalla fibra di intradosso. La sezione è inoltre dotata di armatura ordinaria costituita da $12\Phi 16$ disposti come in figura. La sezione viene verificata sia al tiro che a tempo infinito.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo:

sono quelli nominali di un calcestruzzo di classe C45/55:

$$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 23.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 55.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati nominali assegnati relativi all'acciaio di precompressione (diagramma bilatero senza incrudimento):

$$f_{pk} = 1770.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = f_{p0.1k} = 0.9 \times 1770.0 = 1593.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{pd} = 1593.0 / 1.15 = 1385.0 \text{ N/mm}^2$$

$$u_k = 0.0111$$

$$u_d = 0.9 \times 0.0111 = 0.01$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Dati nominali assegnati relativi alle barre in acciaio lento tipo FeB44k:

$$f_{yk} = 430.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{td} = 373.9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000.0 \text{ N/mm}^2$$

Input dati generali nel programma e dati sui materiali

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali ¹³:

Forma di sezione: Predefinita (le sezioni precomprese sono previste solo nella categoria delle sezioni predefinite in flessione retta)

Posizione sezione: sezione intermedia

Percorso di sollecitazione: $N = \text{costante}$.


Gli altri dati di questa scheda hanno il consueto significato.


Nell'archivio materiali si inseriscono (se non già presenti) i dati nominali prima indicati del calcestruzzo e degli acciai.


Input dati sezione

Dati Generali	Sez.Iniz.	Rinforzi	Sforzi	Risultati
---------------	-----------	----------	--------	-----------

Sezione predefinita iniziale

Sezione Precompressa 


Poligonale simm. 

C45/55 

Dati sezione calcestruzzo (in cm)

Bi	Hi	Bs	Hs	X vertice (cm)	Y vertice (cm)	
6				1	-25.00	0.00
				2	-25.00	14.00
				3	-7.00	20.00
				4	-7.00	92.00

Armature lente

Feb44k  4 cm

4 cm

Barre Inferiori

n° 4 Ø mm 10 n° 0 Ø mm 0

Barre Superiori

n° 4 Ø mm 10 n° 0 Ø mm 0


Staffe


1 Staffa chiusa Braccio intermedio Senza Staffe

2 Staffe chiusa

Diam. (mm) 8 Passo (cm) 15.0

Armature di precompressione (Tensioni Sigma in N/mm²)

Tipo Acciaio: Trefolo  Ec tiro (N/mm²) 33333.3

 fck tiro (N/mm²) 35.0

Armature post-tese

N°	Ap [cm ²]	Y [cm]	Sigma tiro	Sigma fin.	
1	8.40	7.0	1250.0	1080.0	
2	8.40	21.0	1250.0	1080.0	
3					

Trattandosi di sezione precompressa va anzitutto selezionata la casella Sez.Precompressa. Quindi si sceglie la forma della sezione (Poligonale simmetrica) e si assegnano i dati geometrici ed i nomi attribuiti al calcestruzzo e agli acciai nell'archivio materiali.

Nella sezione più bassa di questa finestra vanno assegnati i dati indispensabili per la verifica al tiro e finale della sezione precompressa:

E_c tiro = Modulo elastico effettivo [N/mm²] del cls. al momento del tiro. Serve solo nella verifica al tiro (alle tensioni ammissibili). Poichè l'esempio di VcaSlu indica, invece, il coeff. $n=6$ di omogeneizzazione tra cls. e acciaio precompresso, si ricava $E_c = E_{ap}/6 = 200000.0/6 = 13333.3$ dove E_{ap} è il modulo elastico dell'acciaio armonico assegnato nella finestra Dati Materiali. Questo valore di E_c viene utilizzato solo nel calcolo delle tensioni al tiro (svolto dal programma col metodo n)

f_{ck} tiro = Resistenza caratteristica [N/mm²] del calcestruzzo da precomprimere valutata nel momento delle operazioni di del tiro. Viene impiegata per valutare la tensione ammissibile al tiro secondo la (4.1.45) NTC, cioè pari a $0.7 \cdot f_{ck}$.

σ_{pi} tiro [N/mm²] = $\sigma_{pi} = 1250.0$ N/mm² = tensione al tiro dell'acciaio aderente. Deve rispettare i limiti della (4.1.47) NTC.

σ_{fin} [N/mm²] = 1080.0 N/mm² = tensione nell'acciaio aderente a perdite scontate. Le perdite (per viscosità, ritiro, rilassamento), vanno calcolate esternamente al programma. Nel presente caso di armature post-tese la deformazione elastica della sezione si ritiene già inclusa nella tensione assegnata a perdite scontate.

Armat. post-tese. Selezionando questa casella non vengono calcolate in automatico dal programma le perdite di tensione al tiro nelle armature aderenti per effetto della deformazione elastica del cls. al tiro. Dopo il tiro entrambi i tipi di armature sensibili sono considerate perfettamente aderenti al cls. precompresso.

Input Sforzi

Tipo di flessione

RETTA ?

Sforzi al tiro (esclusi sforzi di precompressione)

N [kN] Mx [kNm] ?

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm]

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	1

Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	0.00	2200.00	500.00
2			

Vanno assegnati gli sforzi al tiro (di solito dovuti al solo peso proprio della trave), quelli presenti prima del rinforzo (non previsti in questo esempio) ed infine gli sforzi finali (SLU e SLE) che in questo caso sono solo indicativi essendo lo scopo principale del calcolo quello di calcolare il momento resistente.

Risultati

I risultati del calcolo di verifica (al tiro ed a tempo infinito) sono riportati di seguito. Al tiro la tensione massima nel calcestruzzo è pari a 10.3 N/mm² coincide con quella dell'esempio di VcaSlu. Il momento resistente ultimo è pari a 2243.29 kNm è vicinissimo a quello (2242 kNm) di VcaSlu.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio7.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\rtrit\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio7.sezfrp)

Descrizione Sezione:
 Tipologia sezione iniziale: Sezione rettangolare di pilastro
 Lato X sezione [cm]: 30.0
 Lato Y sezione [cm]: 30.0
 Normativa di riferimento: C8A.7.2 NTC
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
 Riferimento alla duttilità: Deformazione materiali fino a rottura
 Posizione sezione nell'asta: In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck11	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25000.0	N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
	Resistenza media a compressione fcm:	15.00	N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	11.11	N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	7.41	N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico secante Ecm:	25000.0	N/mm ²
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb38k	
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
	Resistenza media a snervamento = fym :	408.2	N/mm ²
	Resist. media a rottura = ftm :	469.4	N/mm ²
	Resist. a snervamento di progetto fy d=fym/(FC*1.15):	355.0	N/mm ²
	Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :	1.15	
	Deform. unitaria ultima di progetto Epu:	0.036	
	Modulo Elastico Es	200000.0	N/mm ²
Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito		
CERCHIAT. -	Con angolari e bande in acciaio del tipo:	Nastri	
	Resistenza snervamento di progetto bande fy d:	532.0	N/mm ²
	Resistenza cls. confinato fcc [(C.8A.7.6) NTC]:	14.2	N/mm ²
	Deformazione ultima cls. confinato Epcu [(C.8A.7.8) NTC]:	0.0232	
	Fattore efficienza Alfa_n [(C.8A.7.7a) NTC]:	0.499	
	Fattore efficienza Alfa_s [(C.8A.7.7b) NTC]:	0.899	
Rapporto volum. armatura trasversale Ro_s:	0.0046		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: fck11

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-15.0
2	-15.0	15.0

3	15.0	15.0
4	15.0	-15.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb38k)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-13.0	-13.0	12
2	-13.0	13.0	12
3	13.0	13.0	12
4	13.0	-13.0	12

ARMATURE A TAGLIO SEZIONE INIZIALE

Diam. staffe sez. iniziale: 8 mm
 Passo staffe sez. iniziale: 20.0 cm
 Staffe sez. iniziale: Una sola staffa chiusa perimetrale

DATI CERCHIATURA DI RINFORZO CON BANDE/NASTR

Larghezza bande/nastri 1.9 cm
 Spessore bande/nastri 0.1 cm
 Passo bande/nastri 5.0 cm

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico 150.00
 Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo 0.00
 Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo 0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.
 N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	200.00	36.00	0.00	100.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)

Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	200.00	36.00	0.00	199.90	44.36 (41.63)	0.00 (0.00)
1.232							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.01250	-15.0	15.0	0.00892	-13.0	13.0	-0.03612	-13.0	-13.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

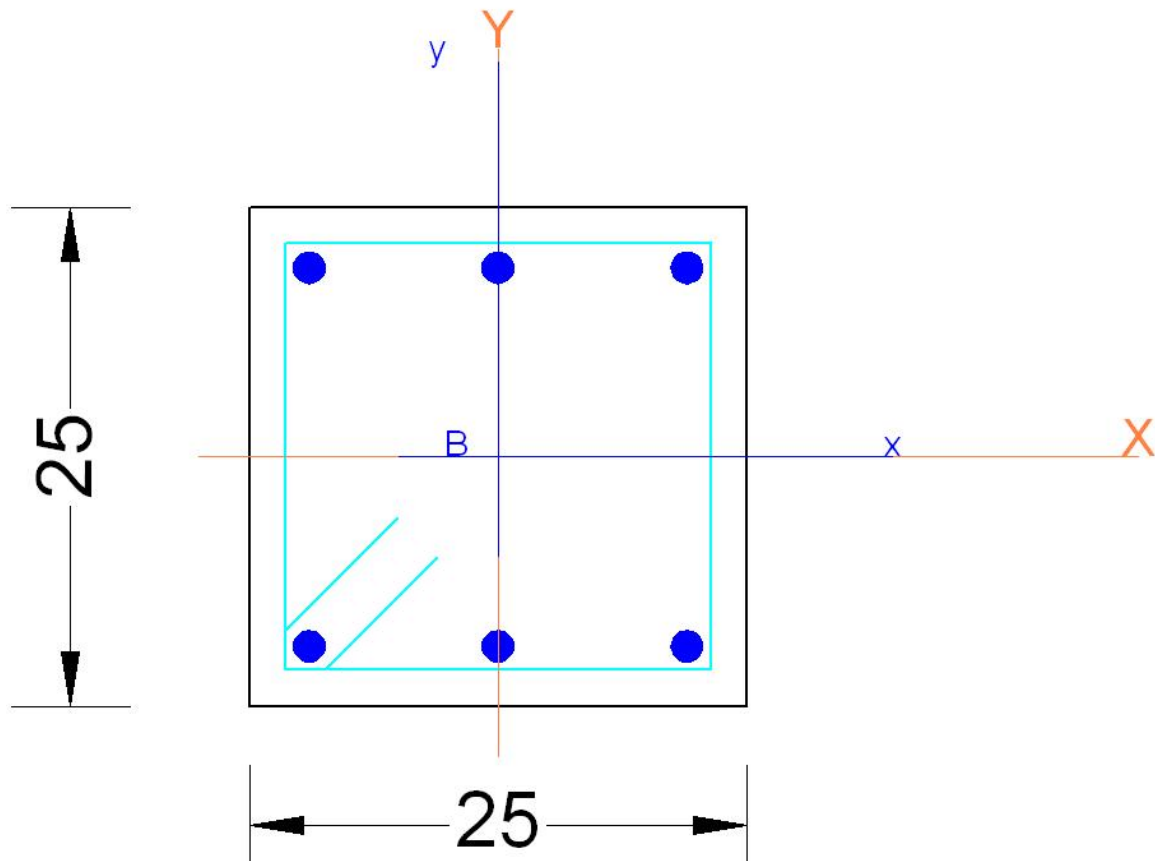
N°Comb	a	b	c
1	0.000000000	0.001732298	-0.013480122

COMBINAZIONI SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
VR Bande	Taglio resistente [kN] sviluppato dalla sola cerchiatura con bande o nastri
Vrcd	Taglio resistente finale [kN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. + Taglio resist. cerchiatura
Vrw	Taglio resistente [kN] assorbito dalla sola cerchiatura in acciaio
z	Braccio coppia interna media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti ed il braccio z
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato (4.1.16)NTC.
Alfa c	Coeff. maggiorativo della resistenza a taglio per compressione (4.1.19)NTC.

N°Comb	Ver	Vsdu	VR Bande	Vrcd	Vrsd	z	bw	Ctg	Alfa c
1	S	100.00	91.38	139.56 (130.92)	175.45 (84.07)	25.1	30.0	2.00	1.250

11.10 Esempio10



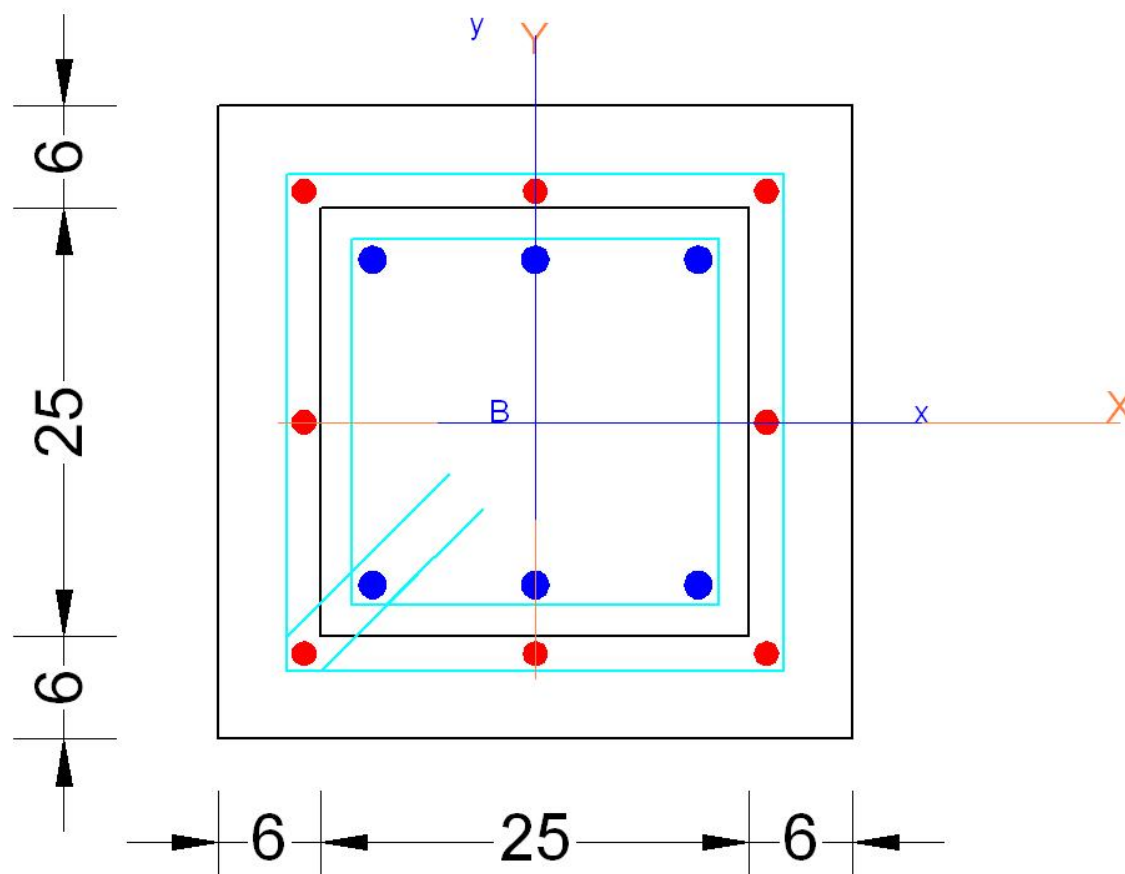
È lo stesso pilastro esistente armato con $6\Phi 16$ da rinforzare a solo sforzo normale già trattato nell'Esempio 2 mediante fasciatura con CFRP. Qui si vuole rinforzare il pilastro con una camicia in ca senza che le barre longitudinali della camicia si ancorino nei nodi (cioè la camicia in ca e le barre longitudinali non collaborano a presso flessione ma solo a taglio e confinamento). Nel caso del rinforzo con CFRP si è raggiunto lo sforzo normale richiesto di $N_{ed} = 1050.00$ kN.

In assenza di confinamento l'applicazione della C4.1.13 NTC per pilastri con trascurabile eccentricità porterebbe ad una resistenza $N_{Rc} = 0,8 A_c f_{cd} + A_s f_{yd} = 0,8 \cdot 625 \cdot 8.5 + 12 \cdot 273.9 = 753.70$ kN rispetto a quella richiesta di 1050.00 kN. In caso di confinamento con camicia è necessario valutare l'incremento di resistenza del calcestruzzo della sezione esistente (unico a resistere a sforzo normale unitamente alle barre esistenti) per effetto delle nuove staffe aggiunte nella camicia. Il riferimento per tale calcolo è costituito dalle formule del § 4.1.2.1.2.1 NTC considerando l'intera

sezione esistente come nucleo confinato. Le formule ivi contenute (dalla (4.1.8) in poi) fanno però riferimento alla resistenza caratteristica f_{ck} che non è di facile determinazione nel caso di un calcestruzzo esistente. Nel programma ad f_{ck} si è sostituito il valore medio di f_{cm}/FC con F_c fattore di conoscenza, trattandosi di comportamento duttile del materiale in presenza di confinamento.

RINFORZO CA

Nome sezione: Esempio10.sezfrp



Il rinforzo è costituito essenzialmente da staffe Φ 10/5 cm B450C di confinamento, mentre la camicia dello spessore di 6 cm e le barre longitudinali qui non rivestono alcuna funzione statica se quella di collegare le nuove staffe al pilastro esistente. Per meglio confinare le staffe è importante vincolare le staffe alle barre intermedie sui lati mediante forcine che penetrino nel calcestruzzo del vecchio pilastro.

INPUT PERCORSO DI CARICO E SFORZI APPLICATI

Per cogliere lo sforzo normale massimo sopportabile è anzitutto necessario effettuare un calcolo di resistenza utilizzando il percorso di carico a eccentricità costante (nella scheda Dati generali).

Le NTC impongono una eccentricità minima ai pilastri essenzialmente compressi pari a 2 cm (o $L/200$ con L lungh. pilastro). In questo caso pertanto è necessario assegnare oltre allo sforzo normale il momento che esso sviluppa per una eccentricità di 2 cm.

RISULTATI

Per il rinforzo proposto la verifica è soddisfatta se non si superano i seguenti sforzi (si è operato per tentativi): $N = 960.00$ kN e $M_x = 960.00 \times 0.02 = 19.20$ kNm.

Detto valore risulta ben superiore a quello in assenza di rinforzo (757.30 kN) prima determinato.

I dati di input e di output sono tutti contenuti nella seguente relazione di calcolo da cui si può rilevare che ad es. la resistenza confinata del calcestruzzo è pari a 13.3 N/mm². Naturalmente è possibile variare i dati delle staffe confinanti a seconda delle esigenze del calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio10.sezfrp

(Percorso File: C:\Users\lritr\Desktop\SEZ_CA\A_A_FRC_FRP\Esempi_FRP\Esempio10.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio2 Lenci 281
Tipologia sezione iniziale:	Sezione rettangolare di pilastro
Lato X sezione [cm]:	25.0
Lato Y sezione [cm]:	25.0
Normativa di riferimento:	C8A.7.1 NTC
Percorso sollecitazione:	A rapporto M/N costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla duttilità	Deformazione materiali fino a rottura
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)
Sezione incamiciata non collaborante:	Barre longit. interrotte

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Denominazione cls. sezione iniziale pre-rinforzo:	fck15
	Modulo Elastico secante E_{cm} :	25892.6 N/mm ²
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35
	Resistenza media a compressione f_{cm} :	17.21 N/mm ²
	Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	15.00 N/mm ²
	Resistenza di progetto (senza confinam.) f_{cd} :	8.50 N/mm ²
	Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) ϵ_{pc0} :	0.0020
	Deform. unitaria ultima (senza confinam.) ϵ_{pcu} :	0.0035
	Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico secante E_{cm} :	25892.6 N/mm ²
	Resist. confinata max (al max parabola):	13.32 N/mm ²
	Resist. confinata alla deform. ultima:	13.32 N/mm ²
	Deformazione confinata alla max resistenza ϵ_{pc0} :	0.0049
	Deformazione confinata ultima ϵ_{pcu} :	0.0389
CALCESTRUZZO -	Classe cls. camicia:	fck150
	Spessore camicia c.a.:	6.0 cm
	Cls. Camicia non collaborante causa barre long. interrotte.	
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo:	Feb32k
	Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00

Resistenza media a snervamento = f_{ym} :	315.0	N/mm ²
Resist. media a rottura = f_{tm} :	362.3	N/mm ²
Resist. a snervamento di progetto $f_{yd} = f_{ym} / (FC * 1.15)$:	273.9	N/mm ²
Rapporti: $f_{tm} / f_{ym} = f_{tk} / f_{yk}$:	1.15	
Deform. unitaria ultima di progetto E_{pu} :	0.036	
Modulo Elastico E_s	200000.0	N/mm ²
Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito	

ACCIAIO -

Barre di rinforzo Tipo:	B450C	
Resistenza media a snervamento f_{ym} (per duttilità):	517.5	N/mm ²
Resistenza media a rottura f_{tm} (per duttilità):	595.1	N/mm ²
Resistenza caratteristica a snervamento f_{yk} :	450.0	N/mm ²
Resistenza a snervamento di progetto f_{yd} :	391.3	N/mm ²
Resistenza a rottura di progetto f_{td} :	391.3	N/mm ²
Rapporti: $f_{tm} / f_{ym} = f_{tk} / f_{yk}$:	1.15	
Deform. unitaria ultima di progetto E_{pu} :	0.068	
Modulo Elastico E_s	200000.0	N/mm ²
Legge tensioni-deformazioni:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	fck150

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	-12.5
2	-12.5	12.5
3	12.5	12.5
4	12.5	-12.5

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb32k)

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-9.5	-9.5	16
2	-9.5	9.5	16
3	9.5	9.5	16
4	9.5	-9.5	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE SEZ. INIZIALE

N° Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N° Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N° Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N° Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	1	16
2	2	3	1	16

DATI NUOVE BARRE DI RINFORZO (Acciaio B450C)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
7	-13.5	-13.5	14.0
8	-13.5	13.5	14.0
9	13.5	13.5	14.0
10	13.5	-13.5	14.0
11	-13.5	0.0	14.0
12	13.5	0.0	14.0
13	0.0	-13.5	14.0
14	0.0	13.5	14.0

STAFFE DI CONFINAMENTO AGGIUNTE

Diam. Staffe di Rinforzo: 10 mm

Passo Staffe di Rinforzo: 5.0 cm

Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra
1	7	8	9	10					

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [kN] preesistente baricentrico	780.00
Momento fl. Mx [kNm] preesistente al rinforzo	0.00
Momento fl. My [kNm] preesistente al rinforzo	0.00

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI FINALI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N	Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo. Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	960.00	19.20	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

COMBINAZIONI SLU - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

My	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [kNm] rif. asse y princ. d'inerzia (tra parentesi My ult. sez. iniz.)
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	960.00	19.20	0.00	960.02 (861.68)	20.67 (0.00)	0.00 (0.00)
Mis.Sic. 1.077							

COMBINAZIONI SLU - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. massima in compressione nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. minima in trazione nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)

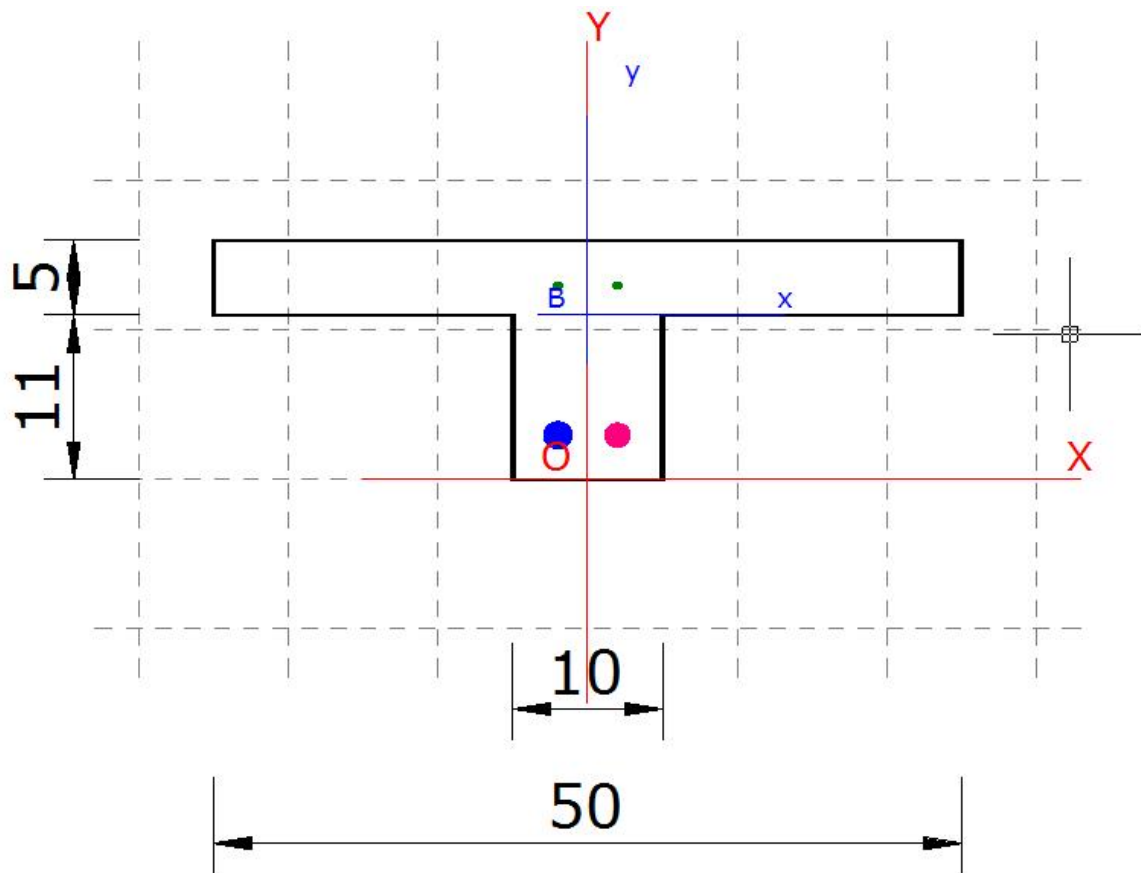
N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.03890	-12.5	12.5	0.03992	-13.5	13.5	-0.00701	13.5	-13.5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

N°Comb	a	b	c
1	0.000000000	0.001738038	0.017178519

11.11 Esempio11




In questo esempio si tratta il caso di un solaio esistente (in figura rappresentato dalla sezione di mezzeria del travetto tipo) da rinforzare dovendo resistere ad un incremento dei carichi tali da produrre un momento flettente massimo positivo di $M_{max} = 13.5$ kNm. Dovendo, inoltre, sostituire la pavimentazione si sceglie di rinforzare il solaio mediante una soletta in c.a. collaborante con la soletta esistente mediante appositi connettori (anch'essi da dimensionare). In questa situazione l'intervento alternativo di rinforzo a flessione mediante FRP da applicare inferiormente ai travetti, sarebbe stato meno efficace oltre che più oneroso.

Assegnati i dati di resistenza dei materiali nell'Archivio materiali, si assegnano i dati geometrici e meccanici della sezione esistente nella scheda 'Sezione Iniziale':

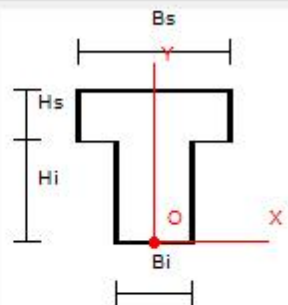
Dati Generali **Sez.Iniz.** Rinforzi Sforzi Risultati

Sezione predefinita iniziale

Sezione Precompressa 

T / T rovescia

fck16



Dati sezione calcestruzzo (in cm)

Bi

Hi

Bs

Hs

Armature lente

Tipo Acciaio: Feb38k

C.ferro inf. cm

C.ferro sup. cm

Barre Inferiori

n° Ø mm n° Ø mm

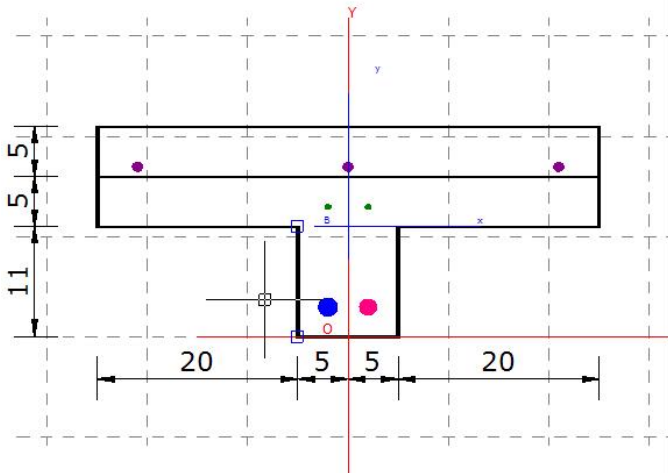
Barre Superiori

n° Ø mm n° Ø mm

Si assume uno spessore di 5 cm per la soletta aggiuntiva costituita da calcestruzzo di classe C20/25 e da rete elettrosaldata (per la ripartizione trasversale del carico) costituita da $\Phi 5/15$ cm.

Di conseguenza la scheda 'Rinforzi' diventa:

Nome sezione: Esempio11.sezfp



Dati Generali Sez.Iniz. **Rinforzi** Sforzi Risultati

Solette e/o Nuove barre o lamine acciaio Tessuti/Lamine FRP

Solette calcestruzzo aggiunte (super. e/o infer.)
Scelta Calcestruzzo aggiuntivo C25/30

Base Inf. (cm) Spessore Inf. (cm)
Base Sup (cm) 50.0 Spessore Sup. (cm) 5.0

Barre longitudinali in acciaio aggiunte

Acciaio per Barre Longitudinali aggiunte B450C

N° barre	Ø [mm]	Y[cm]
3	5	17.0

Lamine (Placcaggio a flessione) in acciaio aggiunte (super. e/ infer.)
Acciaio per Lamine di placcaggio S235

Base Inf (cm) Spessore Inf. (cm)
Base Sup (cm) Spessore Sup. (cm)

Valutato il momento flettente prima del rinforzo (in assenza della pavimentazione e dei carichi variabili) pari a $M=4.62$ kNm si assegna come momento finale massimo positivo (comprensivo anche degli ulteriori carichi permanenti e variabili) $M_{fin} = 13.5$ kNm. Nella seguente scheda degli 'Sforzi' in concomitanza col momento massimo viene assegnato il taglio massimo $V_y=11$ kN presente nella fascia dei momenti positivi lungo l'asse del travetto: ciò consente il calcolo dei connettori nella zona più sollecitata a taglio. I connettori potranno essere maggiormente distanziati nelle zone del travetto in cui il taglio si riduce.

Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [kN] Mx [kNm]

Tipo di combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resistenza	1
S.L.E. Combinazioni Rare in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Frequenti in esercizio	0
S.L.E. Combinazioni Quasi Permanenti in esercizio	1

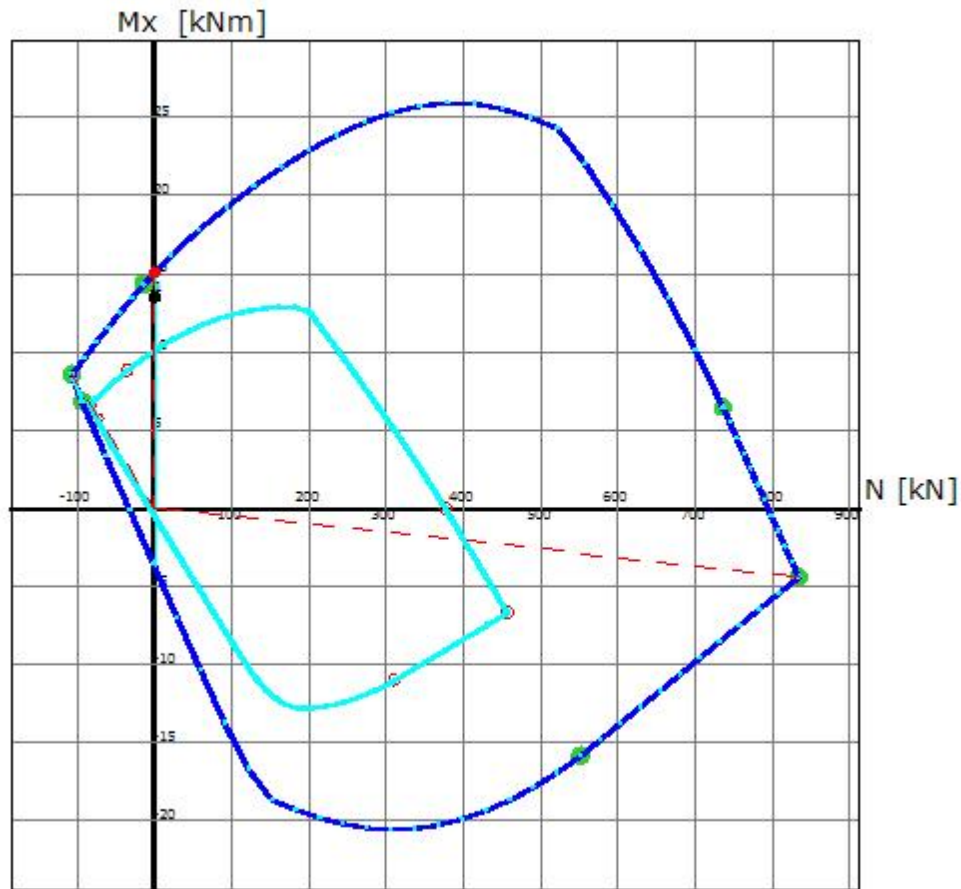
Sforzi totali finali a rinforzo effettuato (referim. sez. iniziale)

	N [kN]	Mx [kNm]	Vy [kN]
1	0.00	13.50	11.00
2			

Effettuato il calcolo con esito positivo il calcolo si ottiene, tra l'altro, il confronto tra il dominio di resistenza del travetto rinforzato e quello del travetto esistente:

DOMINI N-Mx SLU (Sez.Iniziale + Sez.Rinforzata)

Nome Sezione: Esempio11.sezfrp



Passo Momenti Mx griglia = 5.00 kNm

Passo Sforzo Normale N = 100.00 kN

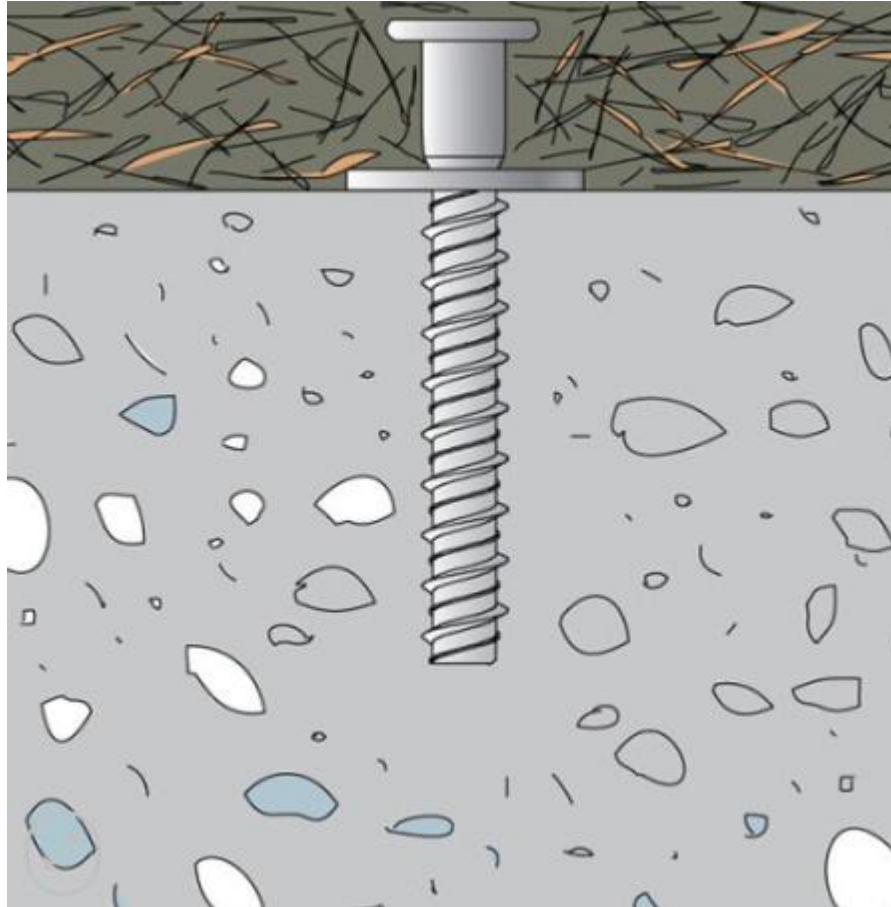
Nella stampa dei risultati si ottiene lo scorrimento in kN/cm con cui dimensionare i connettori.

SCORRIMENTO (SLU) SOLETTA SUPERIORE (Da assorbire con apposti connettori)

Nsol	Sforzo normale [kN] di competenza della soletta (positivo se di compressione)
Ntot	Sforzo normale [kN] (con segno uguale a Nsol) relativo all'intera sezione composta
Beta	Rapporto Nsol/Ntot
Br	Braccio coppia interna [cm] = Momento fl./Risultante compressioni
Scorr	Scorrimento [kN/cm] = Beta*Vs/Br da assorbire con connettori (vedi (6.24)EC2) (Lo scorrimento [kN] relativo a ciascun connettore = Scorr. x Interasse connettori [cm])

N°Comb	Nsol	Ntot	Beta	Br	Scorr
1	106.51	106.51	1.000	12.7	0.87

In questo caso viene scelto un tipo di connettore di piccola altezza le cui caratteristiche di capitolato possono essere così riassunte:



Piolo connettore a vite zincata composto da un gambo in acciaio cementato con corpo filettato \varnothing 10mm e lunghezza 60 mm; piolo \varnothing 10 mm ed altezza 30 mm, dotato di rondella mobile premontata in acciaio di spessore 3 mm e diametro 30 mm e testa con cava esagonale da 6 mm. La resistenza sperimentale a taglio del connettore è di 9.5 kN.

Quindi assumendo un interasse longitudinale dei connettori di 10 cm lo scorrimento da assorbire con un solo connettore \varnothing 10 in 10 cm è:

$$S_c = 0.87 * 10 = 8.7 \text{ kN} < 9.5 \text{ kN}$$

Al ridursi del taglio l'interasse tra i connettori può anch'esso ridursi (il calcolo può essere rifatto assumendo un taglio minore).

Bibliografia

Capitolo



XII

12 Bibliografia

- [1] D.Min Infrastrutture 17 Gennaio 2018: *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (NTC)*.
- [2] Circolare Min.Infr. e Trasp. 21/1/2019, n. 7: *Applicazione norme tecniche per le costruzioni (NTC)*.
- [3] CNR -DT 200 2013: *Istruzioni per la progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di consolidamento statico mediante Conpositi Fibrorinforzati [FRP]*.
- [4] Circolare LL.PP. 15 Ottobre 1996 n.252: *Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le strutture in c.a. normale e precompresso*.
- [5] UNI EN 1992-1-1 2005 EUROCODICE 2: *Progettazione delle strutture in calcestruzzo*.
- [6] LINEE GUIDA LLPP 24/07/2009: *Linee guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di interventi di Rinforzo di strutture di ca., c.a.p. e murarie mediante FRP*.
- [7] LINEE GUIDA per la riparazione ed il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature, partizioni. Dip.Prot. Civile RELUIS, 2009.
- [8] F.Clementi, S.Lenci : *I compositi nell'ingegneria strutturale*. ESCULAPIO, Bologna,2009.
- [9] E. Cosenza, Manfredi, Pecce: *Strutture in cemento armato*. HOEPLI Milano, 2008.
- [10] M.A.Pisani: *Consolidamento delle strutture*. Hoepli, Milano, 2009.
- [11] R. Favre, J. Jaccoud, ed altri: *Progettare in calcestruzzo armato*. Hoepli, Milano, 1994.
- [12] G. Sarà: *Esercizi di teoria e tecnica delle costruzioni*. Liguori Editore, Napoli.
- [13] R. Tritto: *Programmi per il calcolo agli stati limite delle sezioni in c.a.* Protec Editrice, Foggia
- [14] R. Tritto: *Un procedimento numerico per la verifica a taglio obliquo nei pilastri in c.a.* Rivista "Ingegneria Sismica" n.2/2009, Patron Editore Bologna
- [15] *Progettazione di strutture in calcestruzzo armato - Vol. I - AICAP*
- [16] CEB-FIP MODEL CODE 1990 - Thomas Telford London 1998

Contatti

Capitolo



13 Contatti

GeoStru Software



Web: www.geostru.eu

E-mail: info@geostru.eu