Sezioni in CA rinforzate

Part I Introduzione 1

1 Ambito di applicazione del programma ... 6
2 Tipologie sezioni ... 8
3 Caratteristiche dei materiali ... 11
4 Unità di misura ... 14

Part II Ambiente di lavoro 15

1 Menu dati generali ... 16
2 Sezioni predefinite iniziali ... 19
3 Sezioni precompresse ... 22
4 Sezioni generiche iniziali ... 25
5 Sezioni rettangolari o circolari di pilastri ... 30
6 Rinforzi sezioni predefinite ... 33
7 Rinforzo nodo trave-pilastro ... 38
8 Rinforzi sezioni generiche ... 43
9 Importazione sezione da file *.dxf ... 48
10 Importazione sforzi da file ... 49
11 Torsione semplice (con FRP) ... 51
12 Sforzi applicati ... 52
13 Staffe - Duttilità ... 55
14 Archivio materiali ... 58
15 Opzioni armature e di calcolo ... 67
16 Altezza testi - Opzioni di stampa ... 70
17 Colori dei grafici ... 71

Part III Risultati 71

1 Domini di interazione ... 73
2 Diagrammi Momenti-Curvature ... 77

Part IV Stati limiti ultimi per tensioni normali 78

1 Azioni di calcolo ... 79
2 Sollecitazioni di progetto Ed ... 82
3 Resistenze di calcolo dei materiali ... 82
4 Sollecitazioni resistenti Rd ... 83
5 Stato limite ultimo per sforzo normale e momento flettente ... 84
6 Diagramma di calcolo del calcestruzzo ... 86
7 Diagramma di calcolo dell'acciaio ... 87
8 Diagramma di calcolo FRP ... 90
9 Campo di applicazione e convenzioni ... 92
10 Calcolo per sollecitazione retta ... 94

© 2020 Geostru Software

11 Integrazione delle tensioni ... 95
12 Campi di rottura ... 97
13 Calcolo presso-tenso flessione retta ... 98
14 Misura della sicurezza ... 100
15 Calcolo diretto della resistenza ... 101
16 Calcolo per presso-tenso flessione deviata ... 102
17 Misura della sicurezza ad eccentricità costante ... 105
18 Misura della sicurezza a sforzo normale costante ... 106

Part V Confinamento e resistenza 107

1 Confinamento con FRP ... 109
2 Confinamento con camicia in ca ... 115
3 Cerchiatura con angolari e bande/nastri ... 121

Part VI Confinamento e duttilità 123

1 Duttilità con FRP ... 124
2 Duttilità con camicia in ca ... 126
3 Duttilità con angolari e bande/nastri ... 130
4 Duttilità con staffe confinanti ... 133

Part VII Verifica a taglio sezioni non rinforzate 134

1 Verifica sezioni predefinite ... 137
2 Verifica per taglio biassiale ... 138
3 Area resistente staffe e legature ... 141
4 Verifica del conglomerato compresso ... 145
5 Verifica armature a taglio ... 146

Part VIII Verifica a taglio sezioni rinforzate 147

1 Rinforzo a taglio con FRP ... 148
2 Rinforzo a taglio sezioni con incamiciatura in ca ... 150
3 Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande ... 151

Part IX Verifica a torsione con rinforzo FRP 153

Part X Stati limite di esercizio (SLE) 156

1 Azioni di progetto ... 156
2 Tensioni normali in esercizio ... 158
Verifica tensioni di interfaccia FRP ... 160
3 Ampiezza delle fessure ... 162
Procedimento di calcolo ... 164
Calcolo in presenza di FRP ... 167

Part XI Esempi di calcolo 168

1 Esempio 1 ... 169
2 Esempio 2 ... 180

© 2020 Geostru Software

3 Esempio 3 190
4 Esempio 4 203
5 Esempio 5 209
6 Esempio 6 215
7 Esempio 7 231
8 Esempio 8 239
9 Esempio 9 248
10 Esempio10 256

Part XII Bibliografia **262**

Part XIII Contatti **263**

Index **0**

© 2020 Geostru Software

1 Introduzione

CSA

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 del 2009. Le verifiche previste in programma sono rivolte sia agli interventi di rinforzo di riparazione o locale così come difiniti 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 [2 262]) 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 locali di rafforzamento 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

© 2020 Geostru Software

Purtroppo la mancata enanazione della Circolare delle NTC 2018 crea 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 precompresse rinforzate o meno, eventualmente dotate di soletta di secondo getto, con armature precompresse 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 in 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

© 2020 Geostru Software

- 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 (calcolo lineare elastico) 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 [2 262].

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..

© 2020 Geostru Software

Le verifiche vengono svolte in base alle NTC 2018 [1], alle relative Istruzioni [2] ed alle CNR-DT 200 2013 [17]per le sezioni rinforzate con FRP.

Per aprofondire 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 bibliografia.

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 mF 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

© 2020 Geostru Software

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[48] dei domini di conglomerato e delle barre di armatura longitudinale della sezione iniziale.

© 2020 Geostru Software

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 49 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 prevevedono 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.

© 2020 Geostru Software

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 8:

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

All'avvio di ogni calcolo sezionale oltre alla scelta di una delle quattro tipologie vanno definiti (nella scheda dei dati generali 16) 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 richiesti 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.

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 condizionanono comunque i risultati delle verifiche della sezione rinforzata. Riferimenti più approfonditi su questo argomento vengono svolti nel paragrafo "caratteristiche dei materiali 11".

© 2020 Geostru Software

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. E' 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 Mx (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

© 2020 Geostru Software

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 effettuale in presenza (anche contemporanea) di sforzo normale N, momento flettente Mx e taglio Vy. 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-Mx 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 Ne dal momento Mx) 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

© 2020 Geostru Software

contemporaneamente essere assegnate le seguenti componenti di sforzo (per ognuna delle 60 combinazioni possibili): N, Mx, My, Vy, Vx.

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 Mx,My 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 Mx, My) 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 imput 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, Mx, My, Vy, Vx 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.

© 2020 Geostru Software

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 costruttive 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.

© 2020 Geostru Software

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 [2 262]. Ad integrazione delle prove distruttive sono ammessi metodi di indagine non distruttivi (di documentata affidabilità) purchè 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 fcm che dovrebbe essere dedotto, su basi statistiche, sia sul numero che sul tipo di prove effettuate. Noto che sia fcm si ricava il seguente valore della resistenza di calcolo fcd = fcm/(γc·FC) in cui γc = 1.5 e 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 fcm 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 fm la resistenza media dedotta dalle prove fatte, nei calcoli sui calcestruzzi esistenti si può assumere fcm = fm/0.85 da cui ricavare fcd (da inserire nell'archivio materiali 58) 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 fck :

- sia per valutare la resistenza a taglio in assenza di staffe con le formule di normativa nonchè la la resistenza a trazione fctm per i calcoli SLE

© 2020 Geostru Software

- 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 fck .

Un primo riferimento utilizzabile è contenuto nell'EC2 Parte 1 che fornisce fck = fcm - 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:

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

$f_{ck} = f_{i,min} + 4$ con $f_{i,min}$ 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:

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

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

Un'altra possibile (ma a mio avviso superata) valutazione di fck 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.

© 2020 Geostru Software

1.4 Unità di misura

Per l'unità di misura delle forze, pur impiegando il Sistema Internazionale (S.I.), si è fatto uso del seguente particolare multiplo del Newton:

daN = 10 N = 1/100 kN

Questa scelta consente di conservare lo stesso ordine di grandezza ai valori degli sforzi e delle tensioni espressi sulla base del Kg [forza] ancora oggi molto utilizzato nella pratica tecnica in Italia. In tal modo si è reso più agevole il controllo numerico dei risultati consentendo un immediato confronto con soluzioni già note.

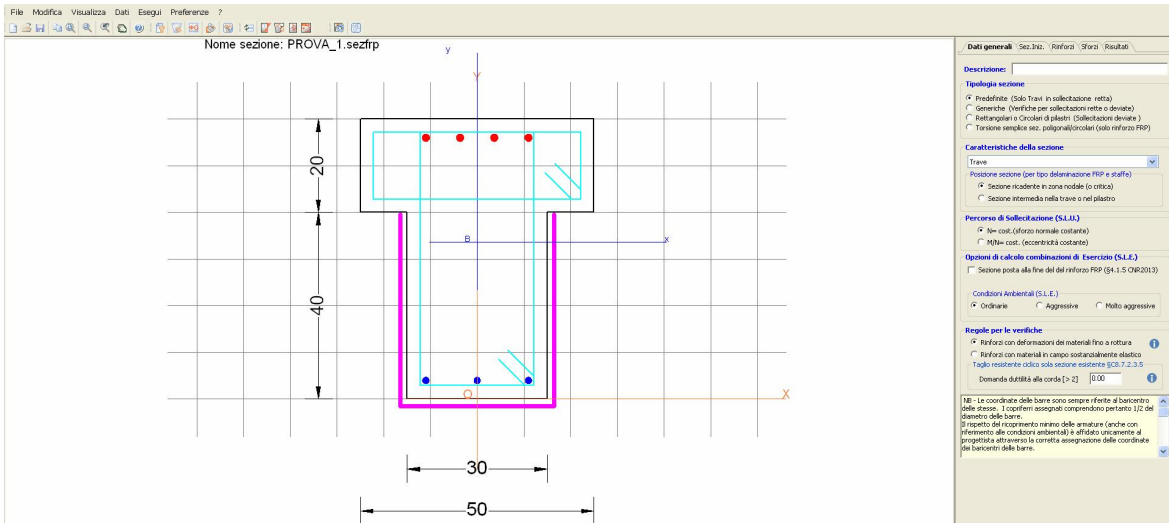
L'unità di misura utilizzata più frequentemente per le lunghezze (sia in Input che in Output) è il centimetro (cm) sia per le dimensioni geometriche che per le tensioni (daN/cm²).

I momenti flettenti e torcenti vengono sempre espressi in daNm (100 daNm = 1 KNm). Le tensioni sono in daN/cm² (1 daN/cm² = 10 Mpa = 10 N/mm²)

In ogni campo di input del programma vengono sempre specificate le unità di misura dei dati da immettervi; 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.

© 2020 Geostru Software

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 16
- Sezione iniz. 19
- Rinforzi 33
- Sforzi 52
- Risultati 71
- Staffe-Duttilità 55

© 2020 Geostru Software

Le prime quattro schede corrispondono ai primi quattro comandi del menu dati 16, la scheda Risultati 71 corrisponde al comando salva e calcola del menu (a tendina) esegui. L'ultima scheda Staffe-Duttilità 55 è attiva solo dopo che sono stati visualizzati i risultati nella relativa scheda; grazie alla scheda Staffe-Duttilità 55 è possibile 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 71: questa operazione può essere ripetuta più volte consecutivamente fino a verifica. Sempre tramite l'ultima scheda è possibile generare diagrammi momenti-curvature anche in presso-flessione deviata finalizzati sia alla valutazione della duttilità in curvatura (utilizzando valori di progetto dei materiali) sia 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 58 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:

© 2020 Geostru Software

- Tipologia del calcolo: va scelta tra le quattro descritte nei corrispondenti pulsanti di scelta:

- Sezioni predefinite[19]: si riferiscono solo a travi di forma rettangolare, a T, rettangolare con flange anche

© 2020 Geostru Software

diseguali, poligonali simmetriche rispetto all'asse verticale. La presso-tenso flessione può essere solo retta.

- Sezioni generiche 25: sono quelle costituite da uno o più domini di conglomerato a forma poligonale o circolare con armature comunque disposte. La flessione può essere sia retta che deviata.

- Sezioni rettangolari o circolari di pilastri 30: per le sezioni rettangolari la disposizione delle armature è generica e la flessione è sempre deviata.

- Torsione semplice 51 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 eccenricità) sia a rapporto M/N = 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 precompresse in cui il calcestruzzo resiste a trazione fino al valore di fctm assegnato al calcestruzzo

© 2020 Geostru Software

nell'archivio materiali[58]). 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.

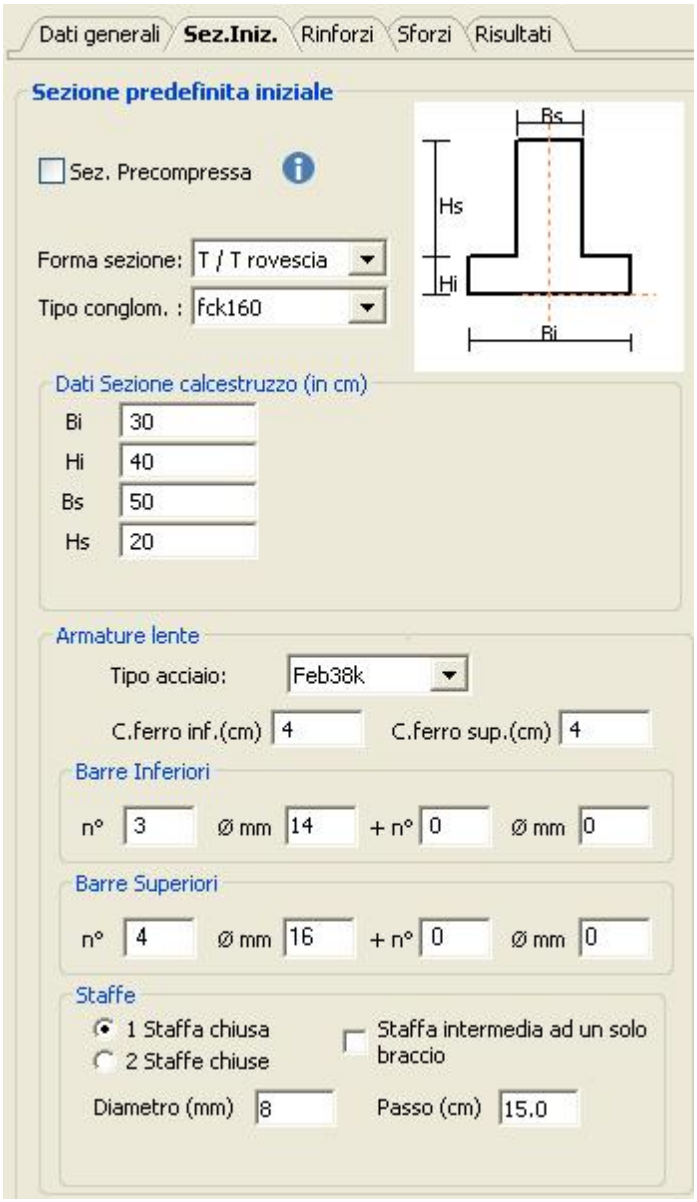
- Regole per le verifiche (armature minime, passi massimi staffe etc.): Poichè le NTC prevedono anche la possibilità di calcolo sismico non dissipativo è prevista sia il comportameno dei materiali con resistenze con deformazioni a rottura sia con resistenze limitate al comportamento in campo sostenzialmente 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[55].

- 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 domando 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:

© 2020 Geostru Software



- 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.

© 2020 Geostru Software

- Tipo Conglomerato: il tipo di conglomerato è sempre quello che compare nella prima riga (riservata al calcestruzzo esistente) dell'apposita griglia nell'Archivio materiali 58.

- Tipo Acciaio: il tipo di acciaio è sempre quello che compare nella prima riga (riservata all'acciaio esistente) dell'apposita griglia nell'Archivio materiali 58.

- 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.

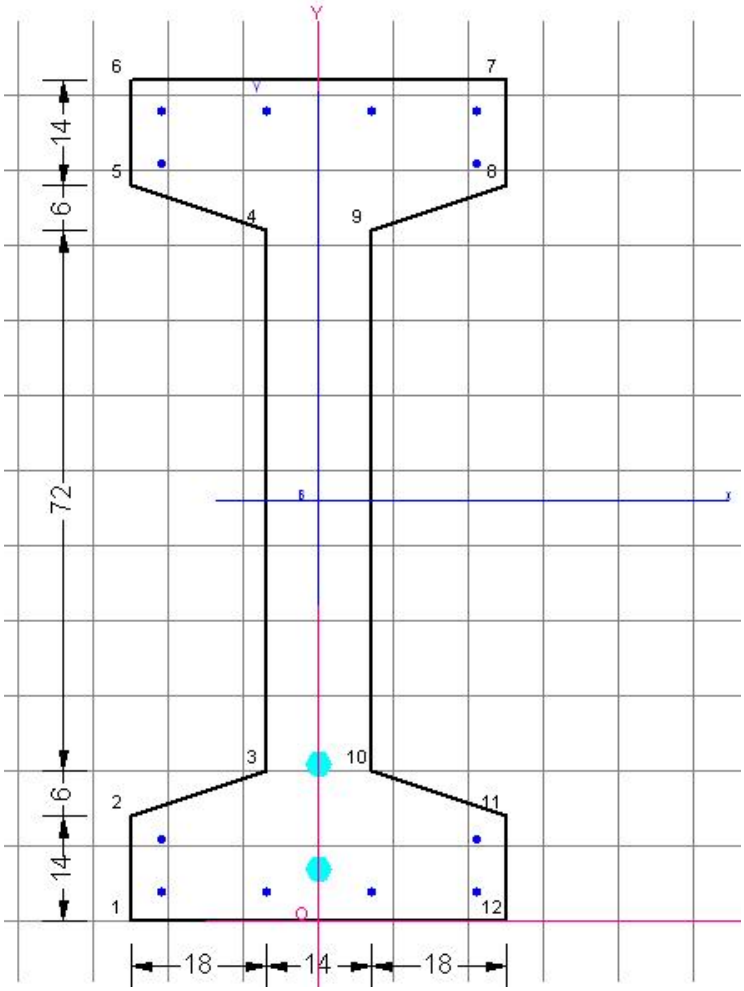
- Barre superiori: va indicato il loro numero ed il loro diametro in mm. Su questa stessa fila di armature possono prevedersi anche barre di due diversi diametri ed in tal caso vanno completati gli ultimi due campi di immissione dati.

- Staffe: possono assegnarsi staffe singole (2 bracci), doppie (4 bracci), singole+legatura (3 bracci), doppia+legatura(5 bracci).

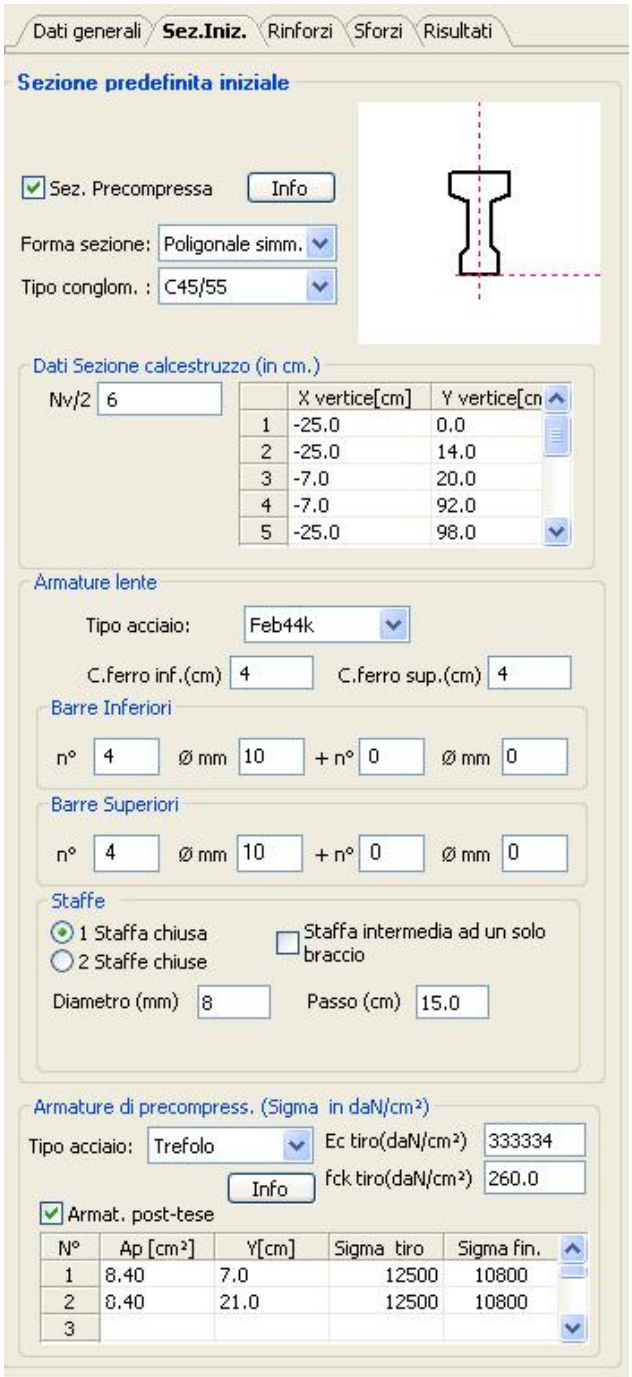
© 2020 Geostru Software

2.3 Sezioni precompresse

© 2020 Geostru Software



© 2020 Geostru Software



Le sezioni precompresse sono previste solo tra le varie forme delle sezioni predefinite. L'attivazione dell'input per le sezioni precompresse 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

© 2020 Geostru Software

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 Rinforzi 33 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 materiali 58
- il modulo elastico Ec e la resistenza fck 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)

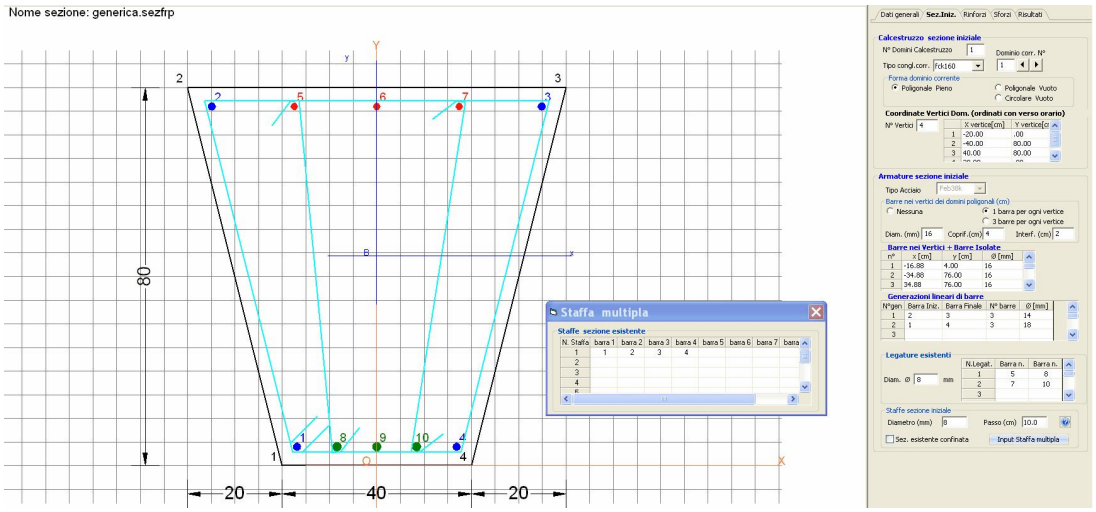
2.4 Sezioni generiche iniziali

Le sezioni generiche iniziali possono essere costituite da uno o più domini di calcestruzzo (fino a 10 comprensivi di eventali 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 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

© 2020 Geostru Software

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 grglia dei vari tipi di conglomerato definiti nell'archivio materiali. Nel caso di dominio vuoto è importante, per la correttezza del successivo calcolo effettuato dal

© 2020 Geostru Software

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.

© 2020 Geostru Software

- 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

© 2020 Geostru Software

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 costituta 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.

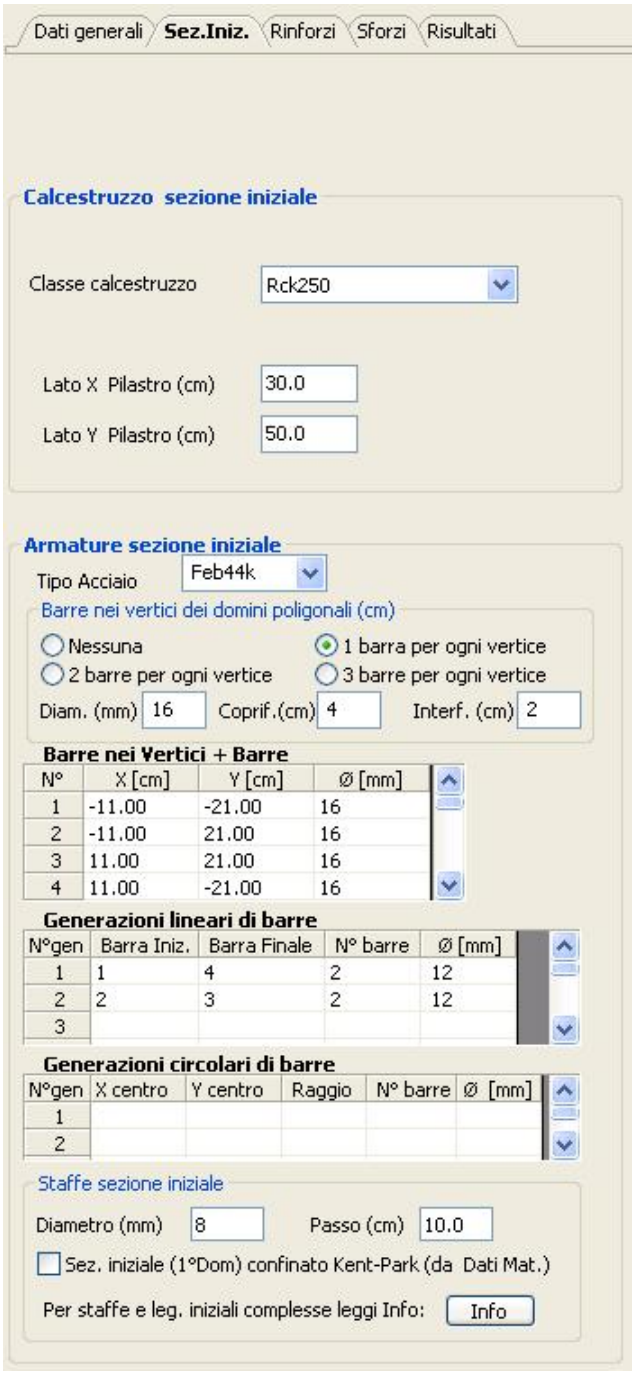
- Diametro e passo staffe. Assegnando il numero di barre per ogni vertice viene generata in automatico una prima staffa chiusa perimetrale. Dopo avre generato ulteriori barre longitudinali è possibile sia aggiungere legature congiungenti a due a due le barre sia aggiungere ulteriori staffe chiuse selezionando 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.

© 2020 Geostru Software

2.5 Sezioni rettangolari o circolari di pilastri

Per le sezioni rettangolari 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 sempre in regime di presso-flessione deviata.

© 2020 Geostru Software



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

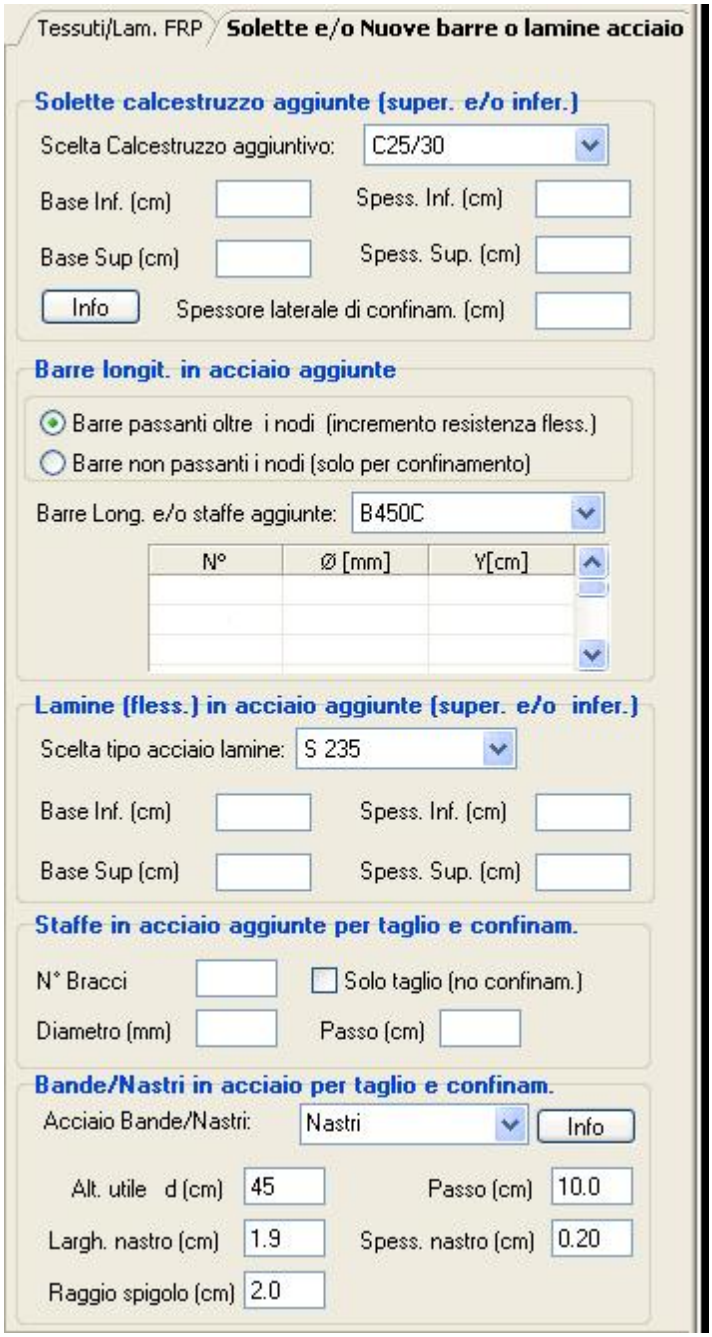
© 2020 Geostru Software

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 materiali 58.

© 2020 Geostru Software

2.6 Rinforzi sezioni predefinite

© 2020 Geostru Software



Per le sezioni predefinite sono disponibili le due schede sopraripportate 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 LG2009 le Linee Guida [6 262]; si rimanda al capitolo 2 delle LG2009 per l'approfondimento dei concetti basilari del progetto di rinforzo con FRP.

© 2020 Geostru Software

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 fc superiore a 150 daN/cm² 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. [8262]).

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 (§3.2.2.3 LG2009) 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[58], 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 (§3.1.3 LG2009); 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 (§3.3 LG2009): 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

© 2020 Geostru Software

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 (§3.5 LG2009 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 sopratutto 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

© 2020 Geostru Software

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 materiali 58 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 affifarsi 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.

© 2020 Geostru Software

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 impegarsi barre retilinee 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 [7 262]). 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

© 2020 Geostru Software

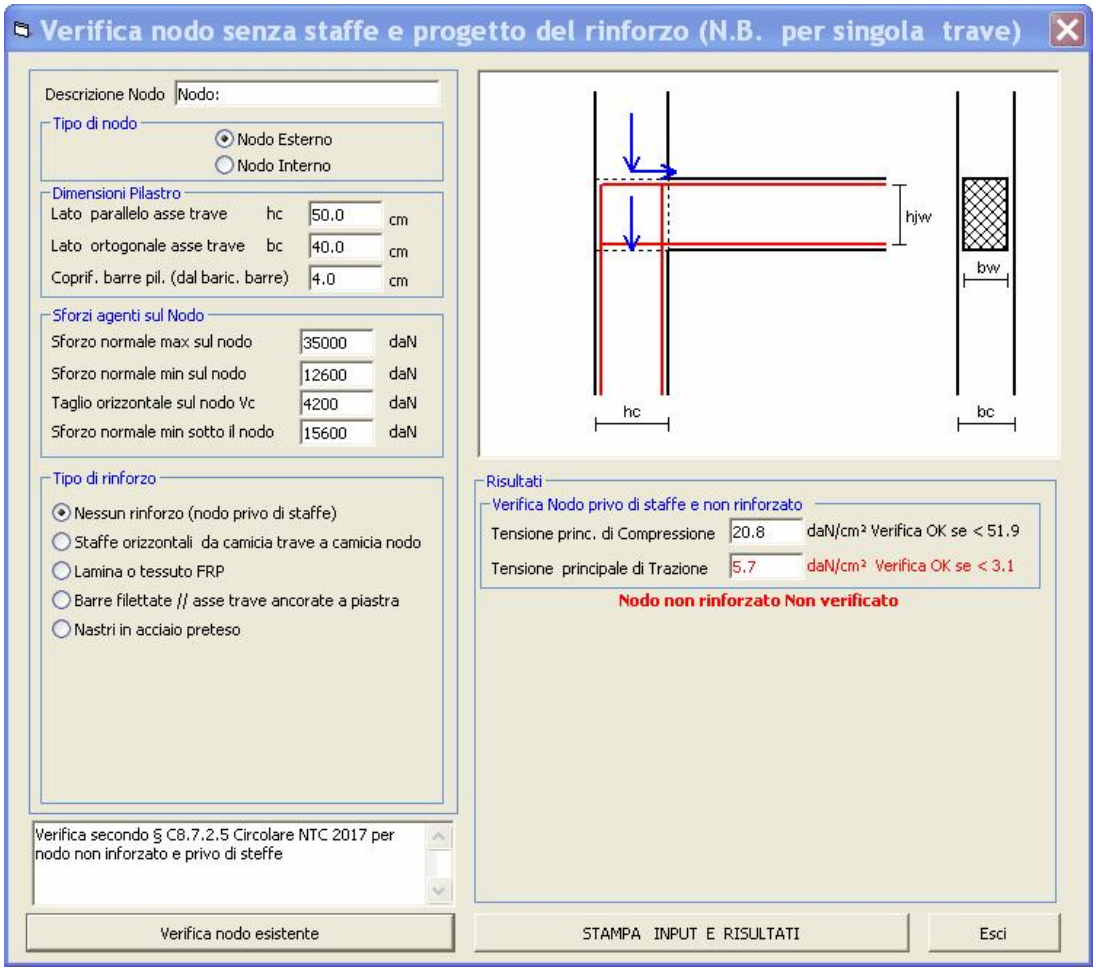
edificate in zone sismiche, non presenta alcuna staffatura all'interno dei nodi trave-pilastro. Infatti la normativa tecnica ne ha trascurato l'importanza fino alle NTC 2008 quando finalmente ne ha fissato le norme per il dimensionamento per le costruzioni in zona sismica. Nella Circolare del 2009 (§ C8.7.2.5) veniva successivamente indicata la verifica da effettuate 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 acciao 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.

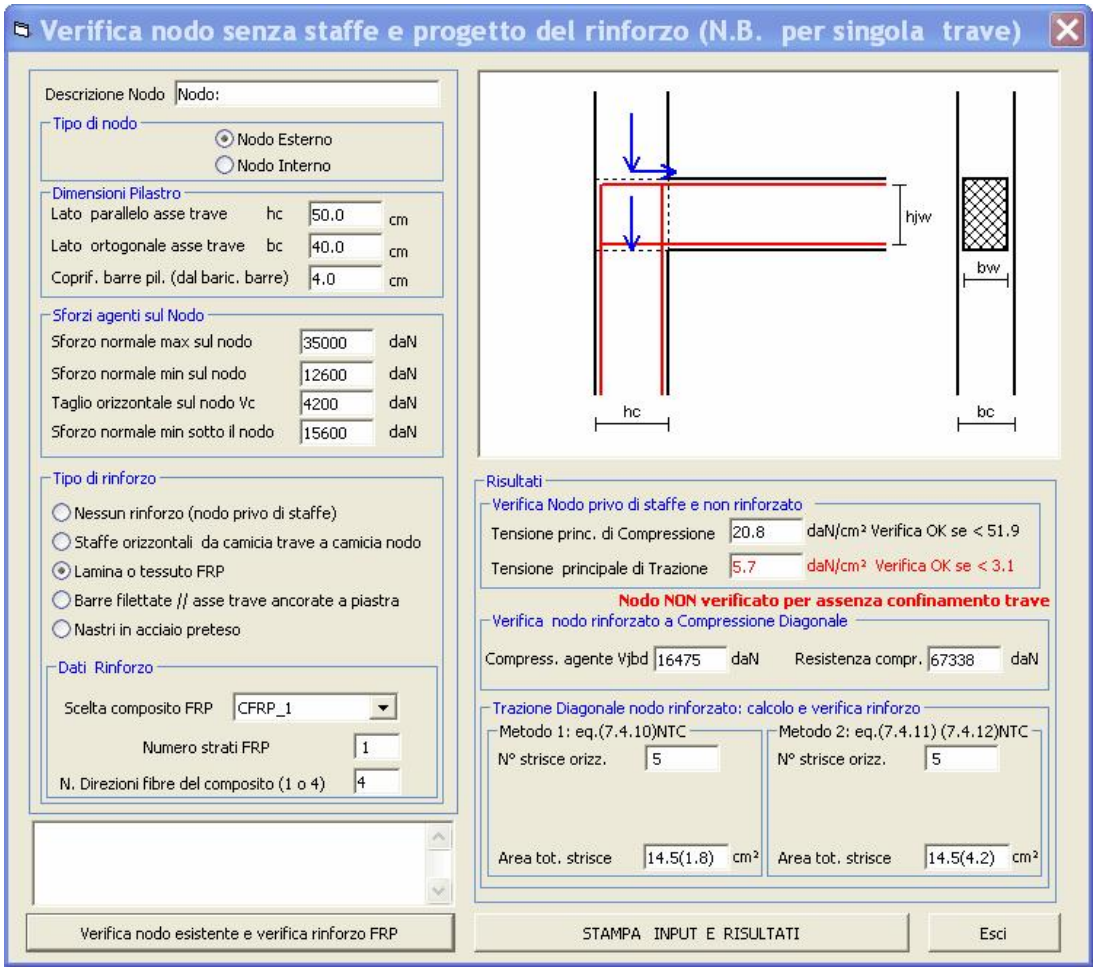
Una volta calcolata col programma la sezione predefinita di attacco al nodo appartenente alla trave esistente che si innesta nel nodo stesso, è possibile selezionare nella scheda dei risultati l'opzione "Nodo trave-pilastro: verifica e/o rinforzo". Si apre quindi la finestra, di seguito riportata, che contiene gli ulteriori dati statici e geometrici per la verifica del nodo.

© 2020 Geostru Software



In questo caso il nodo non rinforzato non risulta verificato. Nella stessa finestra è possibile selezionare il tipo di rinforzo ed effettuare la corrispondente verifica. Se ad esempio in questo caso si sceglie il rinforzo in tessuto FRP quadriassiale (i cui dati statico-geometrici sono stati preventivamente inseriti nella finestra dell'archivio materiali) si otterrebbe il seguente esito:

© 2020 Geostru Software



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 fascare 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 riforzo 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

© 2020 Geostru Software

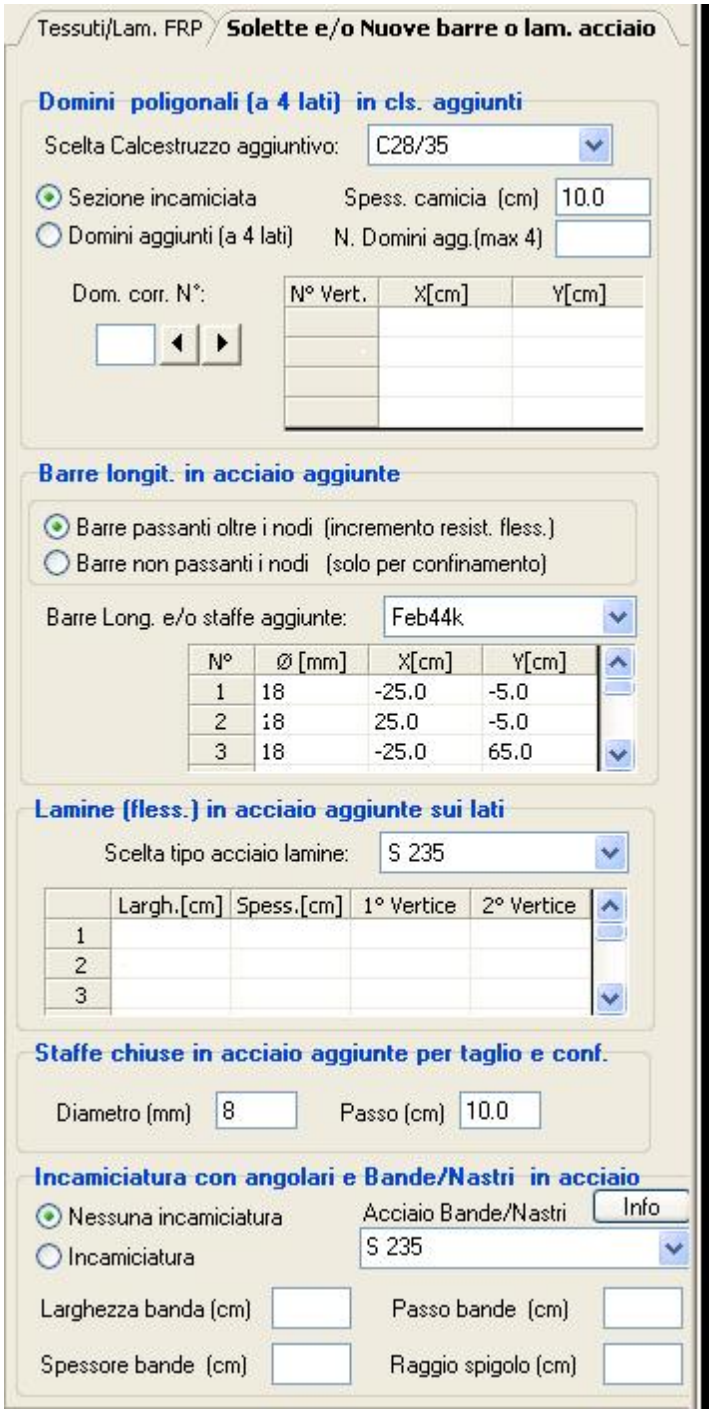
la minore area resistente del rinforzo. Il rinforzo con barre filettate e piastra in acciaio potrebbe essere utilizzato ad es. per nodo esterno interessato da una trave interna ortogonale alle altre due esterne (di facciata); in questo caso infatti non sarebbe possibile, alcun rinforzo da applicare sulla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

© 2020 Geostru Software

2.8 Rinforzi sezioni generiche

© 2020 Geostru Software



Per le sezioni generiche sono disponibili le due schede sopraripportate 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 LG2009 le Linee Guida [6 262]; si rimanda al capitolo 2 delle LG2009 per quanto riguarda i concetti basilari del progetto di rinforzo con FRP.

© 2020 Geostru Software

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 (§3.2.2.3 LG2009) 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 58, 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 materiali 58 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 (§3.1.3 LG2009); 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 (§3.3 LG2009): 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 (§3.5 LG2009 solo per sezioni rettangolari): incrementa la resistenza ultima di pilastri sollecitati prevalentemente a sforzo normale (interventi di

© 2020 Geostru Software

riparazione locali per pilastri degradati o sottodimensionati), e sopratutto 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

© 2020 Geostru Software

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 materiali[58] 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 affifarsi 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 impegarsi barre retilinee 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.

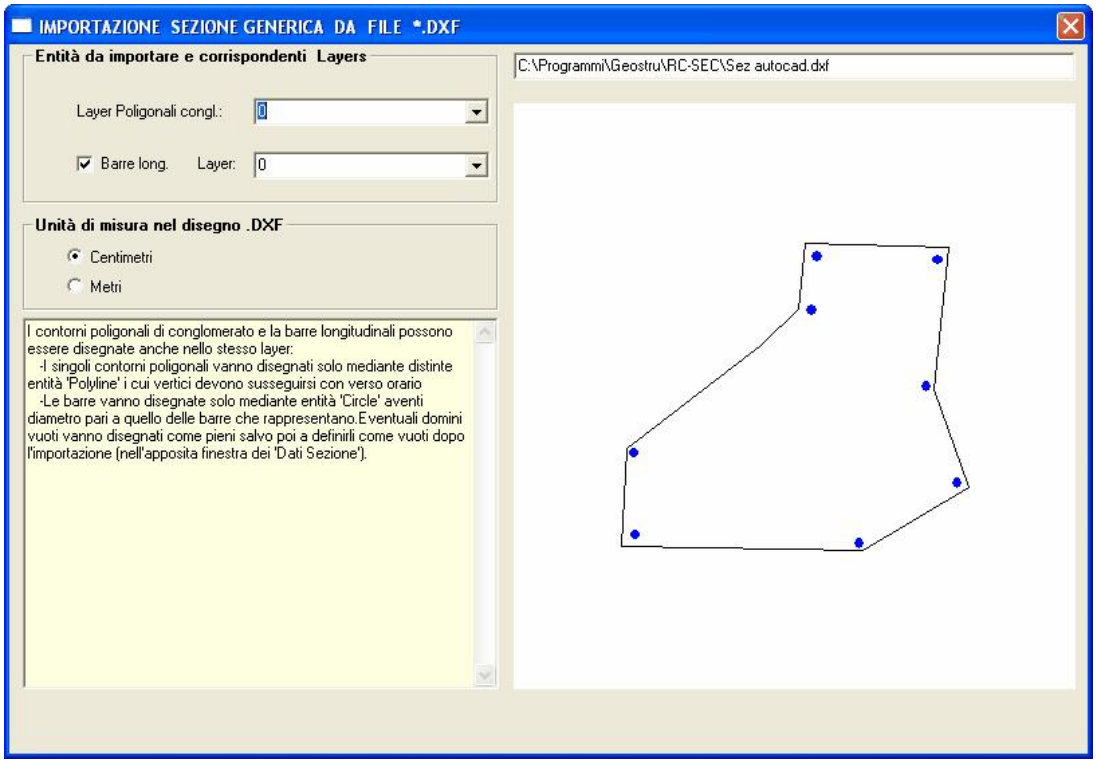
Bande/Nastri in acciaio per taglio e confinamento: si utilizzano in genere per la cerchiatura di pilastri a sezione rettangolare

© 2020 Geostru Software

(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 [7 262]). Nel caso di nastri sovrapposti indicare lo spessore complessivo.

2.9 Importazione sezione da file *.dxf

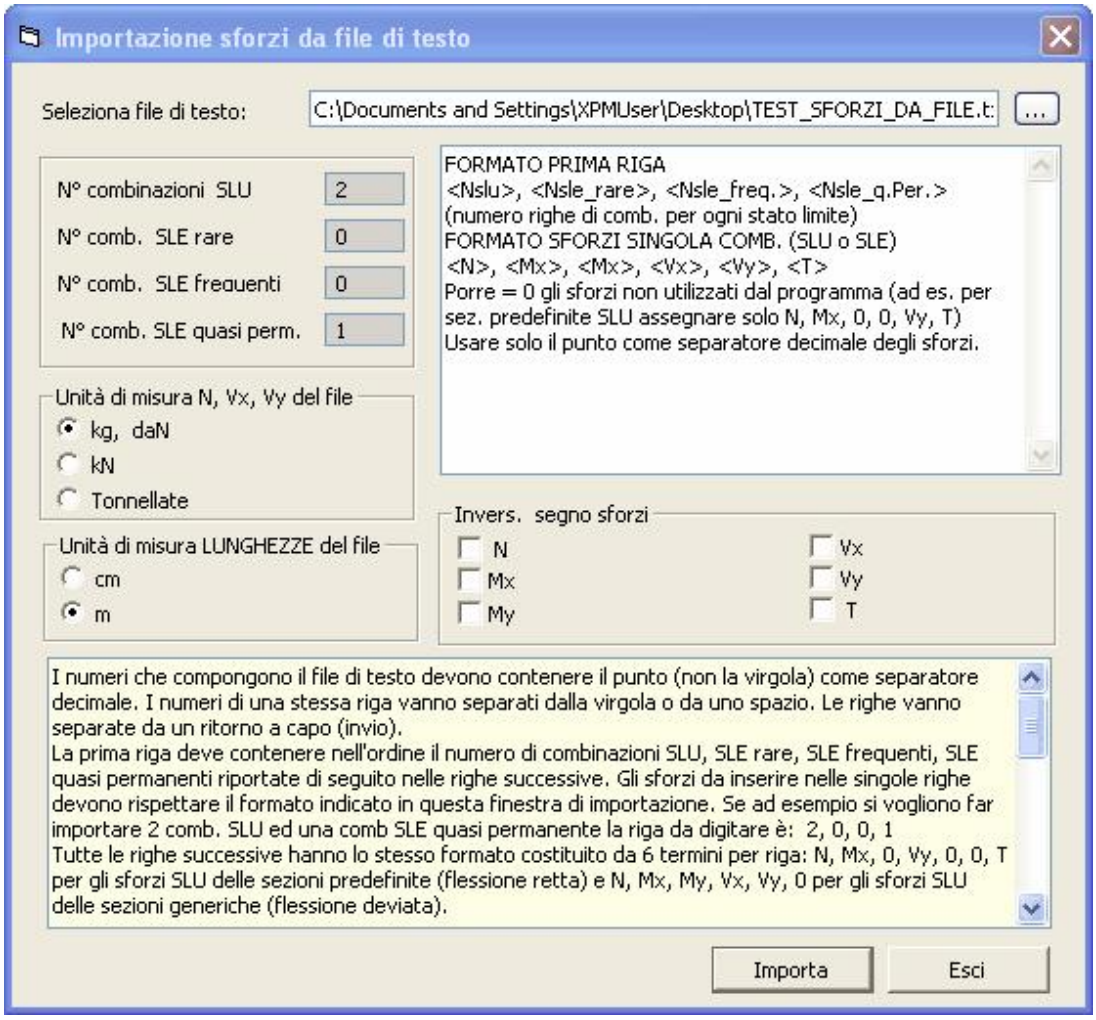
Sia il contorno poligonale che le barre di armature di sezioni generiche 25 possono essere importate da file *.dxf mediante la seguente finestra di importazione attivabile dal menu File.
Le istruzioni in base alle quali vanno disegnate le entità da importare nel file *.dxf sono leggibili direttamente nella sottostante finestra di importazione.



© 2020 Geostru Software

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:



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

© 2020 Geostru Software

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) e N, Mx, My, Vx, Vy, 0 per gli sforzi SLU delle sezioni generiche (flessione deviata).

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 Vx, Vy se diretti come gli assi principali d'inerzia positivi corrispondenti.
- Il momento Mx se comprime le fibre superiori della sezione (nel sistema di rifer. costituito dagli assi principali d'inerzia).
- Il momento My se comprime le fibre a destra della sezione (nel sistema di rifer. costituito dagli assi principali d'inerzia).

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

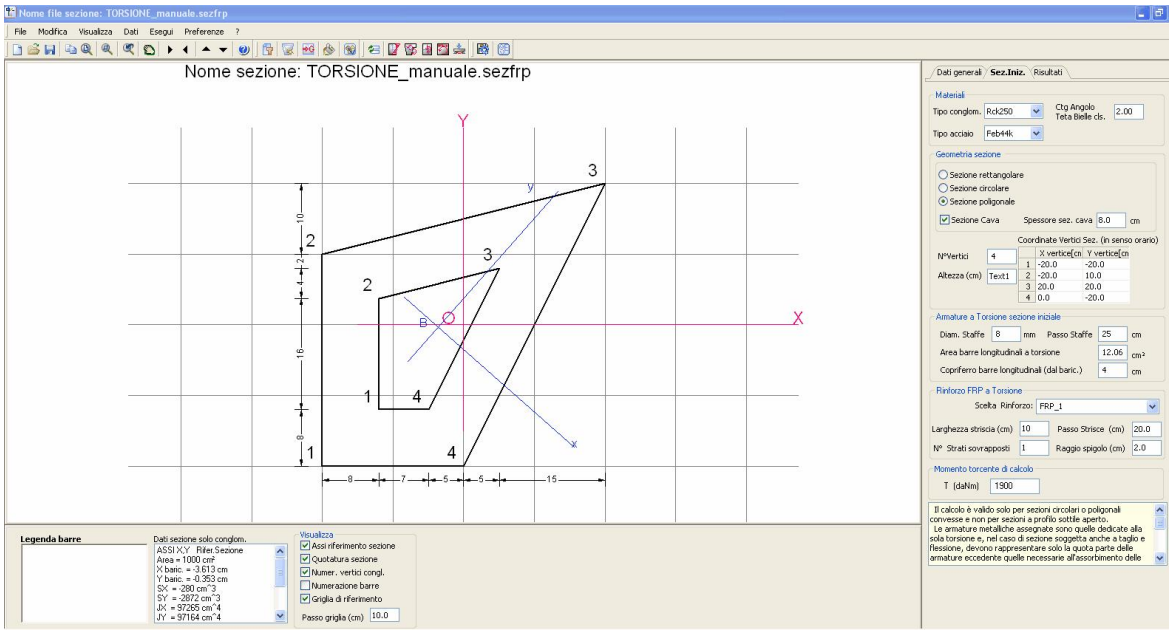
```
2,0,0,1
5000, 6000.9,2350,23200,10000,0
3500, 8000,4500,2000,0,5000
7000.58,4600.88,1500.3,0,0,0
```

© 2020 Geostru Software

2.11 Torsione semplice (con FRP)

Per la quarta tipologia di calcolo prevista nella scheda dei dati generali[16] “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.



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 daNm).

Nel caso in cui la sezione sia contemporaneamente sollecitata a taglio la verifica complessiva della sezione va fatta (fuori dal programma) in base alla (3.29) delle LG2009[262].

© 2020 Geostru Software

2.12 Sforzi applicati

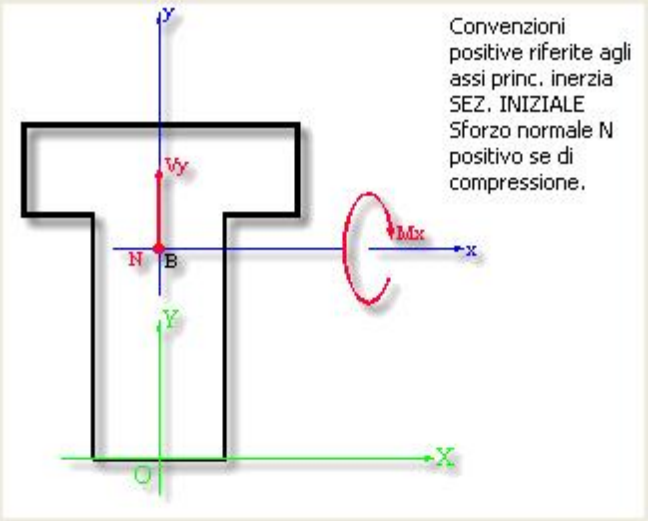
La finestra per l'inserimento degli sforzi di calcolo da applicare alla sezione può essere aperta sia dal menu dati della finestra principale dell'applicazione sia (più rapidamente) selezionando direttamente la scheda Sforzi.
Questa finestra varia automaticamente a seconda della tipologia della sezione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

© 2020 Geostru Software



Sforzi di Esercizio presenti prima del rinforzo

N [daN] 32070 Mx [daNm] 2230

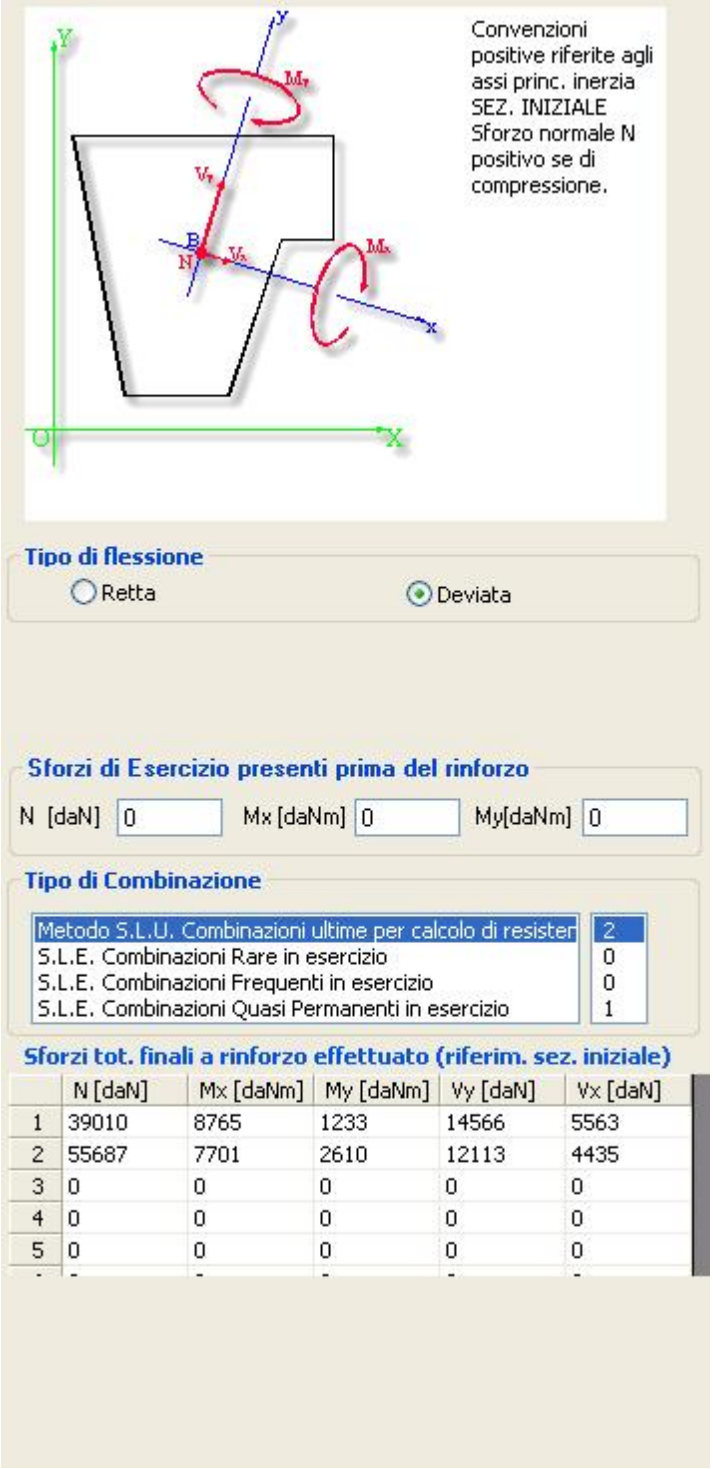
Tipo di Combinazione

Metodo S.L.U. Combinazioni ultime per calcolo di resister	2
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 tot. finali a rinforzo effettuato (riferim. sez. iniziale)

	N	Mx [daNm]	Vy [daN]
1	38930	9874	12032
2	55663	8745	11203
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

© 2020 Geostru Software



- 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

© 2020 Geostru Software

- 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 - Duttilità

Staffe e legature per sezioni predefinite

Nel caso delle sezioni predefnite 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

© 2020 Geostru Software

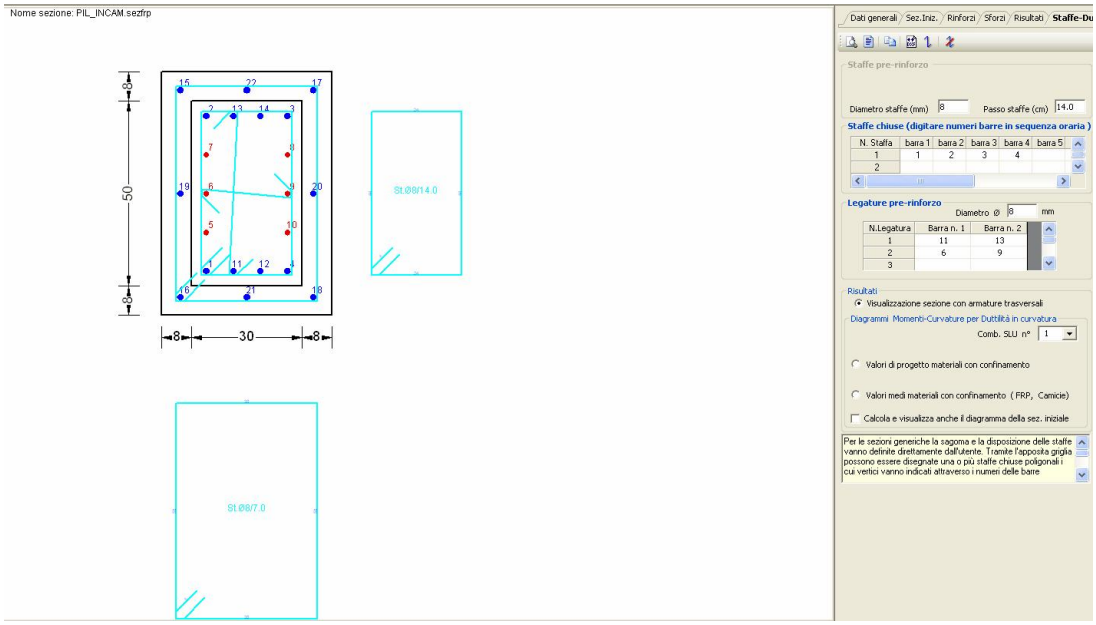
cerchiata con bande o nastri le armature trasversali (sempre a 2 bracci) vengono assegnate nella scheda dei dati relative ai rinforzi.

Staffe e legature per sezioni generiche e pilastri rettangolari

Nella prima elaborazione (sia in verifica che in progetto) non è possibile assegnare in dettaglio forma e nunero delle staffe chiuse e delle legature della sezione iniziale (nonostante se tali armature trasversali debbano essere già note). Il programma utilizza in questo primo calcolo (da non considerare definitivo ma solo di prima istanza) una sola staffa chiusa perimetrale (a due bracci) senza legature. Se, come talvolta avviene, la sezione iniziale contiene solo staffe perimetrali a due bracci non occorre effettuare alcun input successivo al calcolo. In caso contrario una volta ottenuti i risultati di questo primo calcolo si può aprire la scheda delle staffe (vedi figura sottoriportata) e tramite le apposite griglie possono essere inserite o variate fino a 10 staffe chiuse e fino a 80 legature (queste ultime assegnabili e cancellabili anche tramite mouse). Naturalmente potranno essere variati anche il diametro delle staffe e delle legature nonchè 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.

Una volta modificati i dati di staffe e legature per renderli conformi alla effettiva disposizione nella sezione iniziale, va effettuata la riverifica a taglio 138 selezionando la scheda risultati. Il disegno della sezione completa di staffe può essere catturato in memoria, stampato su carta o salvato su file .dxf tramite gli appositi pulsanti posti sulla scheda.

© 2020 Geostru Software



Duttilità e diagrammi momenti curvature

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.

© 2020 Geostru Software

- 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 My/Mx 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.

2.14 Archivio materiali

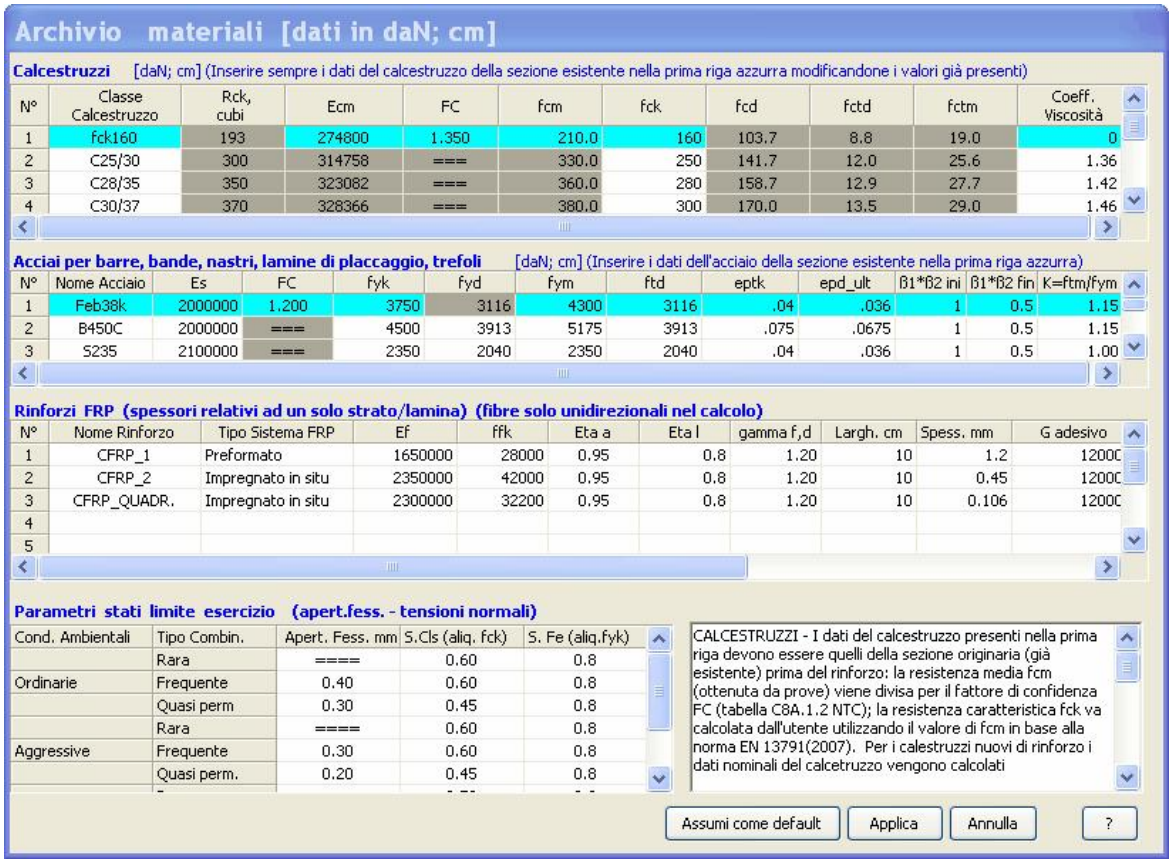
In questa finestra tutte le unità di misura delle caratteristiche dei materiali vanno espresse in daN (1daN = 10 Newton = 1/100 KN; 1 daN/cm² = 10 Mpa) ed in cm.

© 2020 Geostru Software

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 γ dei materiali in quanto i dati di calcolo da immettere in griglia vanno preventivamente divisi per tali coefficienti (la resistenza di calcolo fcd ad esempio per calcestruzzi 'nuovi' è quella ottenuta da $\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$ essendo $\alpha_{cc}=0.85$ e $\gamma_c=1.5$ i coeff. attualmente previsti dalla normativa italiana sugli stati limite; mentre per calcestruzzi esistenti fcd = fcm/(γc·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 fcd direttamente il valore corrispondente a 0.8 fcd). Fermando il mouse sulle singole colonne delle griglie dei calcestruzzi e degli acciai compaiono le formule da cui ricavare le corrispondenti caratteristiche del materiale.

© 2020 Geostru Software



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 (§C8.5.4 Istruzioni NTC). Per quanto riguarda la deduzione delle proprieta del calcestruzzo esistente da immettere nella prima riga si raccomanda la lettura del paragrafo Caratteristiche dei materiali[11]. 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),

© 2020 Geostru Software

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 fck e su cubi Rck (espresse in Mpa). Naturalmente per il calcestruzzo esistente (prima riga della griglia) si potrà indicare una qualsiasi denominazione utilizzata in passato.

Fck,cubi: = Rck =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: fck = 0.83·Rck

Ecm: Modulo elastico (in daN/cm²). Sia EC2 che NTC (§ 11.2.10.3) indicano il valore secante Ecm (secante tra sc=0 e sc=0.4 fcm) pari a 220000 (fcm/100)0.3 daN/cm² dove fcm= fck + 80 (daN/cm²) = valore medio della resistenza.

fcm: Resistenza media a compressione fcm (in daN/cm²). Per il calcestruzzo esistente pre-rinforzo (prima riga della griglia) fcm = fm/0.85 in cui fm è il valore medio dedotto dalle prove e 0.85 è un coefficiente che tiene conto della tolleranza ammessa tra i due valori (vedi paragrafo Caratteristiche dei materiali[11]); in una valutazione più conservativa il coefficiente 0.85 può essere incrementato fino a 1.00). Per i calcestruzzi nuovi le NTC prevedono invece di regola la seguente correlazione fcm = fck + 80 (daN/cm²). Il valore di fcm 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 - fcm=fcm/FC. Se invece l'analisi ha come scopo la valutazione delle rotazioni plastiche nella fase di analisi strutturale non lineare (lato domanda) fcm 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 fcm.

FC: Fattore di confidenza. Viene impiegato, con riferimento al solo calcestruzzo esistente (prima riga della griglia), per determinare il valore di progetto della resistenza fcd = fcm/

© 2020 Geostru Software

(γc·FC) da impiegare nei calcoli di verifica. FC puo assumere i seguenti valori: 1.35, 1.20, 1.00 a seconda se il livello di conoscenza è LC1, LC2, LC3.

fck: Resistenza cilindrica caratteristica a compressione fck (in daN/cm²). 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 Rck si ha: fck = 0,83 Rck [§ 11.2.10.1 NTC]. Per il calcestruzzo esistente iniziale (prima riga della griglia) va determinato a partire dal valore fcm con le modalità illustrate nel paragrafo Caratteristiche dei materiali[11].

fcd: Resistenza ultima di calcolo a compressione fcd (in daN/cm²). Per calcestruzzi nuovi (dalla seconda riga in poi): fcd = acc fck / 1,5 [punto 4.1.2.1.1.1 NTC] dove acc =0,85 = coeff. riduttivo delle resistenze di lunga durata e 1,5 è il coeff. sicurezza parziale γc del calcestruzzo. Per il calcestruzzo esistente (prima riga) fcd = fcm/(γc FC) in cui FC e il fattore di confidenza e γc = 1.5.

fctd: Resistenza di calcolo a trazione (in daN/cm²) fctd = 0,7 fctm / 1,5.

fctm: Resistenza media a trazione (in daN/cm²) fctm = 3 (fck/10) 2/3 per classi ≤ C50/60 [11.2.10.2 NTC]

fctm = 21,2 ln[1+ (fcm/100)] per classi > C50/60

Coeff. Visc. f : Coefficiente di viscosità [punto 11.2.10.7 NTC] utilizzato per il calcolo delle tensioni di esercizio SLE effettuato sempre col metodo EM (cfr. [9[262]]) Cioè il programma utilizza per il calcestruzzo un modulo elastico efficace Ec,eff = Ec/(1+f). Per un confronto o una calibrazione di f col metodo n si può usare la seguente corrispondenza: Ec,eff = Es/n = Ec/(1+f) da cui f = n Ec/Es -1. Per il calcestruzzo della sezione esistente si può porre quasi sempre f=0 (viscosità esaurita per le sollecitazioni incrementali SLE relative alla fase di rinforzo). Per eventuale calcestruzzo di nuovo getto può assumersi il nuovo valore f (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

© 2020 Geostru Software

entità trascurabile in quanto vengono di regola utilizzati addiditivi 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 11).

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

Es (Es): Modulo elastico medio istantaneo (in daN/cm²). EC2 consiglia il valore di 2000000 daN/cm² 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 fyd = fym/(γs·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.

fyk (fyk): Per gli acciai nuovi (dal secondo rigo della griglia in poi) la tensione caratteristica di snervamento è quella fyk (in daN/cm²) nominale del produttore; ad esempio per l'acciaio in barre B450C il suo valore è pari a 4500 daN/cm² [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 fyk va dedotto a partire da quello medio fym misurato. Statistiche europee indicano che il valore medio della resistenza è del 15% maggiore della resistenza caratteristica: si può cioè porre fyk = 0.85 · fym.

fyd (fyd): Tensione di snervamento di progetto (in daN/cm²). Per acciai nuovi e fyk / γs [γs = 1.15 = coefficiente di sicurezza

© 2020 Geostru Software

parziale]. Nel caso di acciaio appartenente a sezione esistente (prima riga della griglia fyd = fym / (ys · FC).

ftk (ftk): Tensione caratteristica di rottura nominale (in daN/cm²). Per acciai nuovi in barre B450C il valore è pari a 5400 daN/cm² [punto 11.3.2.1 NTC]. Nel caso di acciaio esistente può assumersi ftk=0.85 · ftm in analogia a quanto sopra detto per il valore di snervamento.

ftd_ult: (ftd)Tensione di rottura di calcolo (in daN/cm²). E' pari a ftk /ys . Per acciai esistenti (prima riga della griglia) privi di certificati del produttore vale: ftm/ (ys · FC) con ftm valore medio dedotto da prove.

eptk: Deformazione unitaria euk a rottura nel diagramma idealizzato dell'acciaio (che per l'acciaio B450C è ≥ 0,075). Nel caso di acciai in sez. esistenti eptk = eum/Fatt.Conf.

epd_ult: Deformazione unitaria eud a rottura di calcolo nel diagramma idealizzato dell'acciaio (deve assumersi non superiore a 0.9 euk).

b1,*b2 (iniz.): prodotto dei coefficienti b1, b2 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.

b1*b2 (finale): prodotto dei coefficienti b1, b2 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

© 2020 Geostru Software

Tipo di applicazione: Per calcolo condotto secondo le Linee Guida 2009 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 262]

Ef: (Ef) modulo di elasticità ridotto (in daN/cm²) normale nella direzione di calcolo (unica per ogni tipo di applicazione). Ef = αfE Efib in cui Efib e il modulo di elasticita delle fibre nude e αfE (≤0.9) è il coeff. di riduzione della rigidezza dopo l'impregnazione indicata dal produttore.

ffk: (ff) resistenza caratteristica ridotta (daN/cm²) = ff = αff ffib in cui ffib e la resistenza caratteristica delle fibre nude e αff (≤0.9) è il coeff. di riduzione dopo l'impregnazione. Questi dati devono essere forniti dal produttore.

Eta a: (ηa) 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.

Eta l (ηl) 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 (γf,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 γf,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.

© 2020 Geostru Software

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

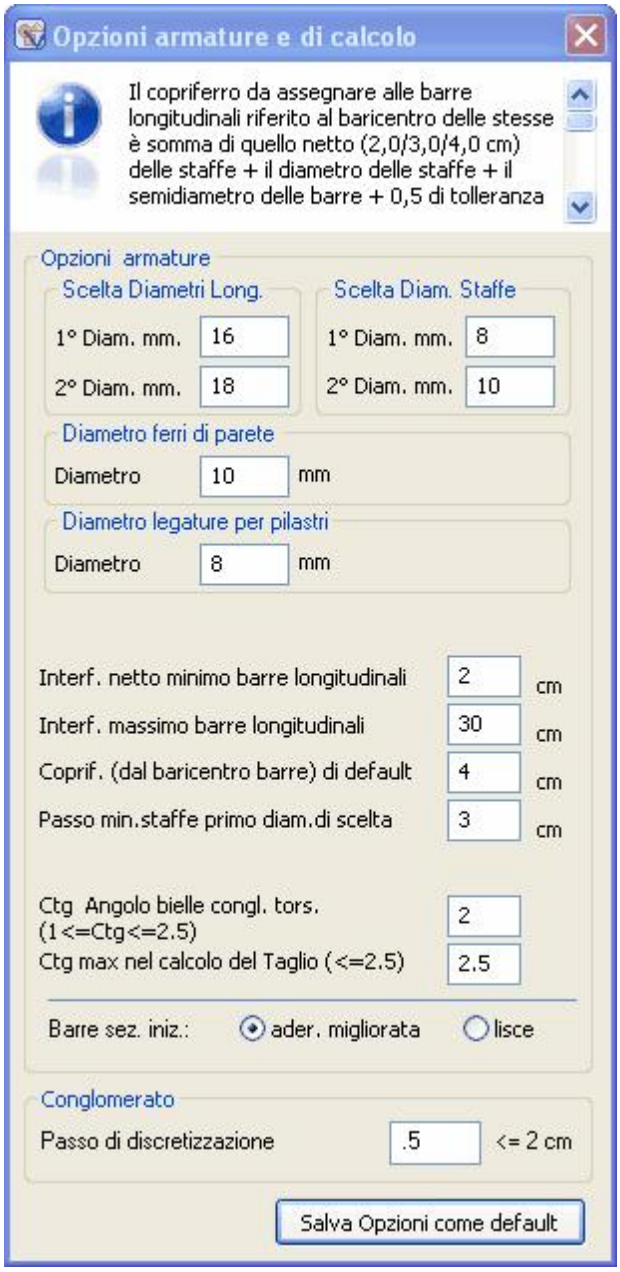
Spess.: Spessore (in mm.) di un singolo strato di rinforzo. I rinforzi possono essere disposti anche su più strati sovrapposti di spessore complessivo tf.

G adesivo: (Ga) 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: (ta) spessore nominale adesivo. Viene impiegato nella verifica delle tensioni di interfaccia allo SLE.

© 2020 Geostru Software

2.15 Opzioni armature e di calcolo



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 quelli 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.

© 2020 Geostru Software

- 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 inzona 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

© 2020 Geostru Software

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 momeni-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.

© 2020 Geostru Software

2.16 Altezza testi - Opzioni di stampa

Tramite le opzioni presenti in questa finestra è possibile fissare:

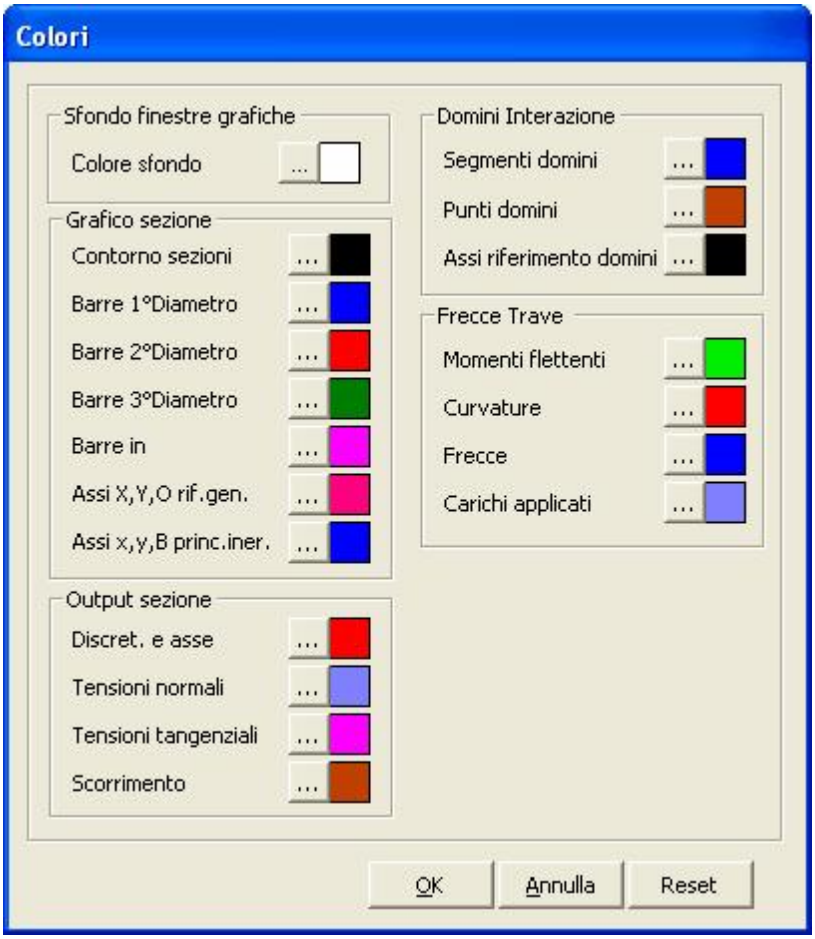
- l'altezza (in cm) dei caratteri numerici che compaiono nei grafici delle sezioni sullo schermo e delle scritte dei titoli delle schermate principali (altezza fissata automaticamente dal programma per domini e diagrammi momenti curvature);

- 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)

© 2020 Geostru Software

2.17 Colori dei grafici

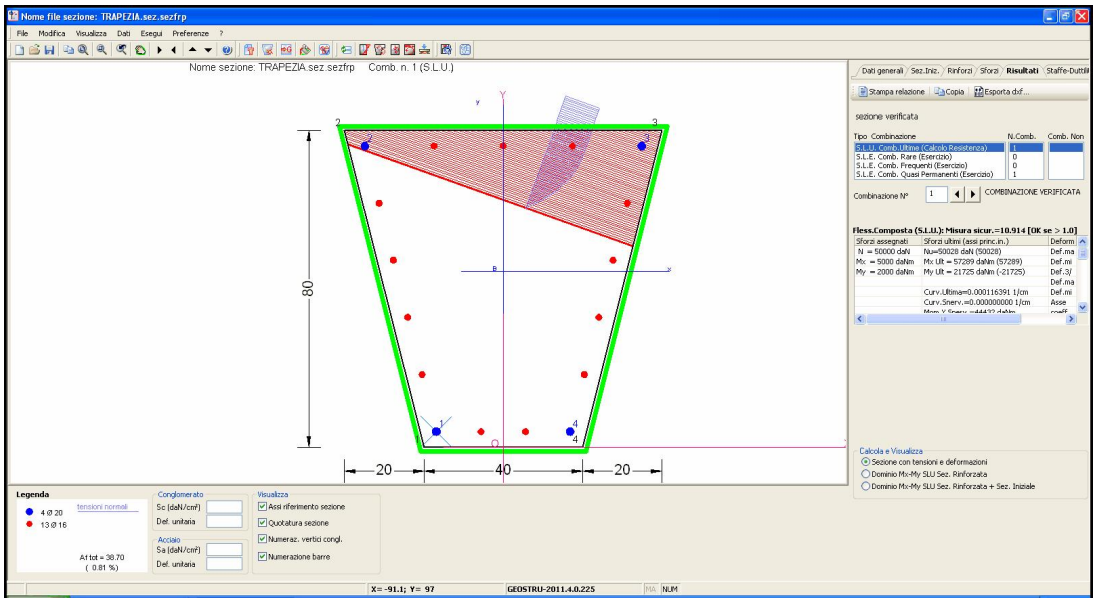


Grazie alle opzioni che compaiono nella finestra di opzione è possibile assegnare un colore personalizzato per quasi tutte le entità grafiche che compaiono sullo schermo.

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.

© 2020 Geostru Software



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.

© 2020 Geostru Software

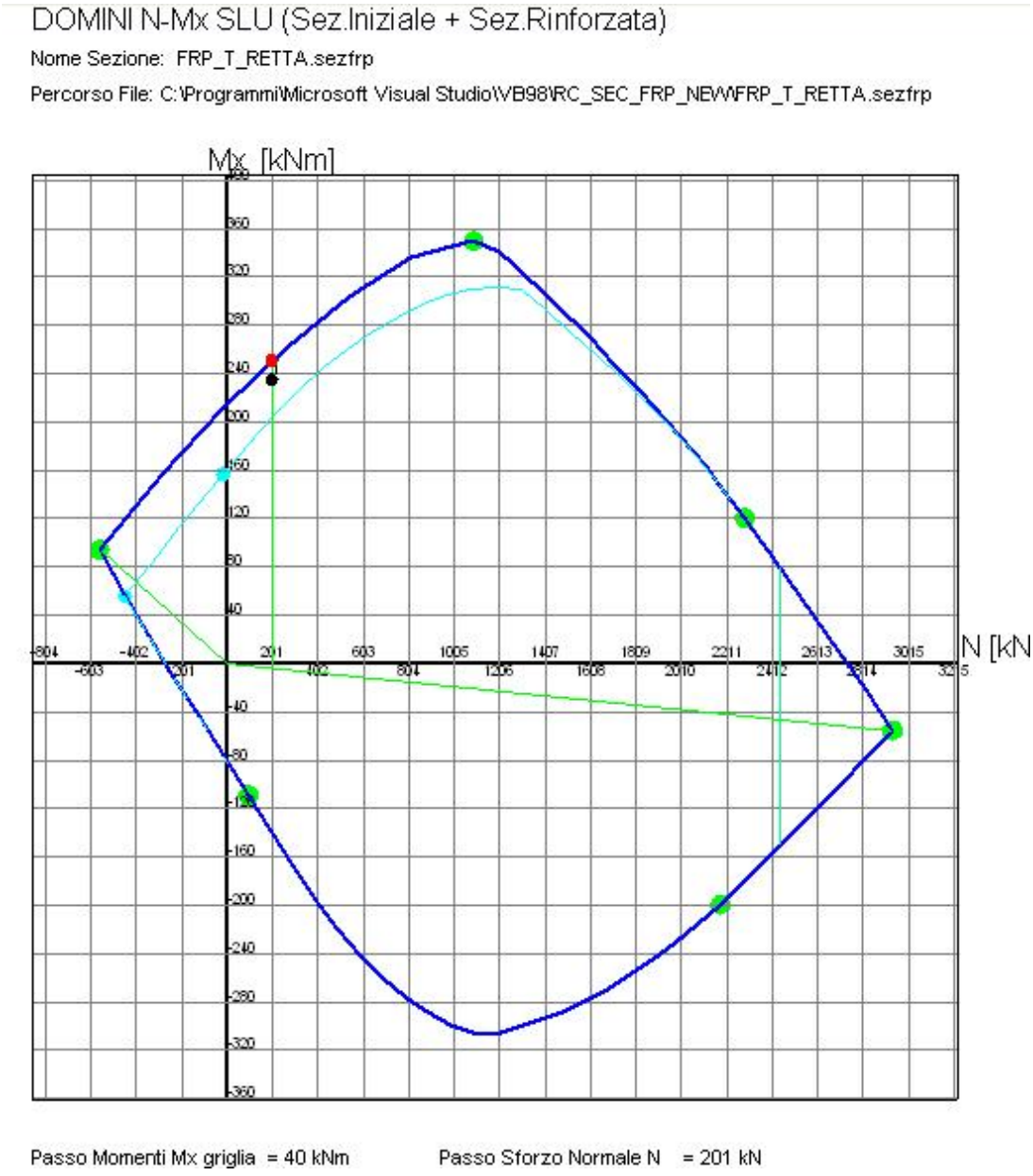
3.1 Domini di interazione

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.

© 2020 Geostru Software

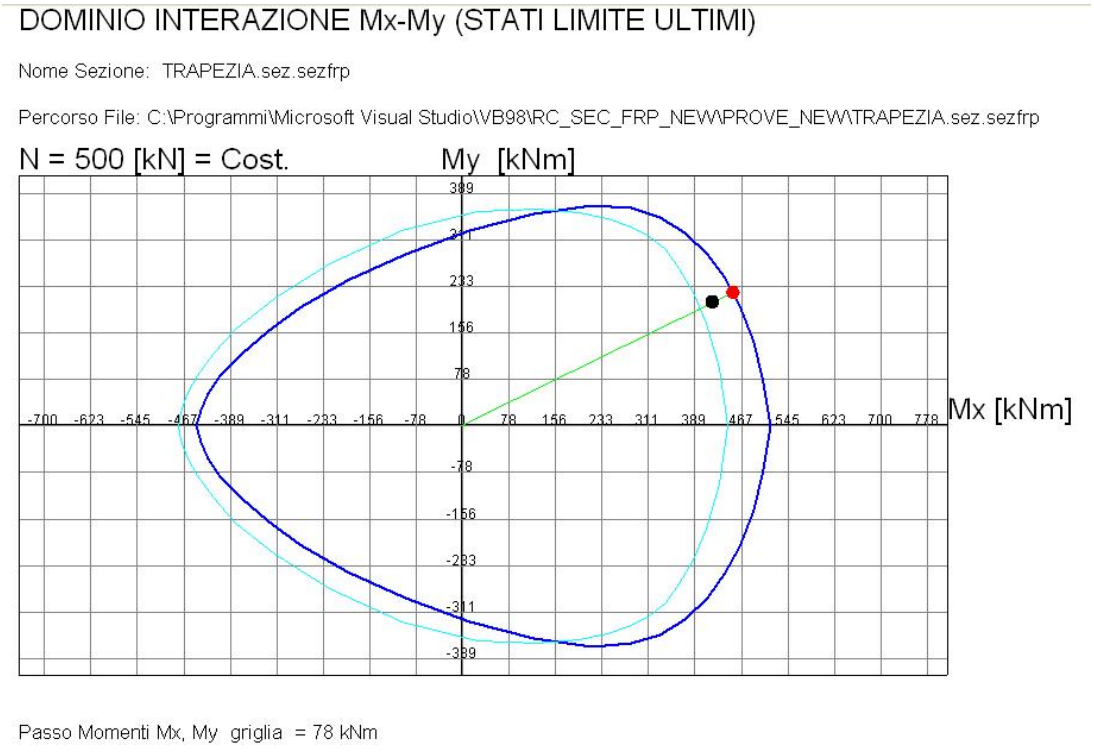


Domini Mx-My a sforzo normale N costante per sezioni generiche e pilastri rettangolari

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.

© 2020 Geostru Software

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.



© 2020 Geostru Software

© 2020 Geostru Software

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 combinaziono SLU assegnate nella scheda sforzi 52.

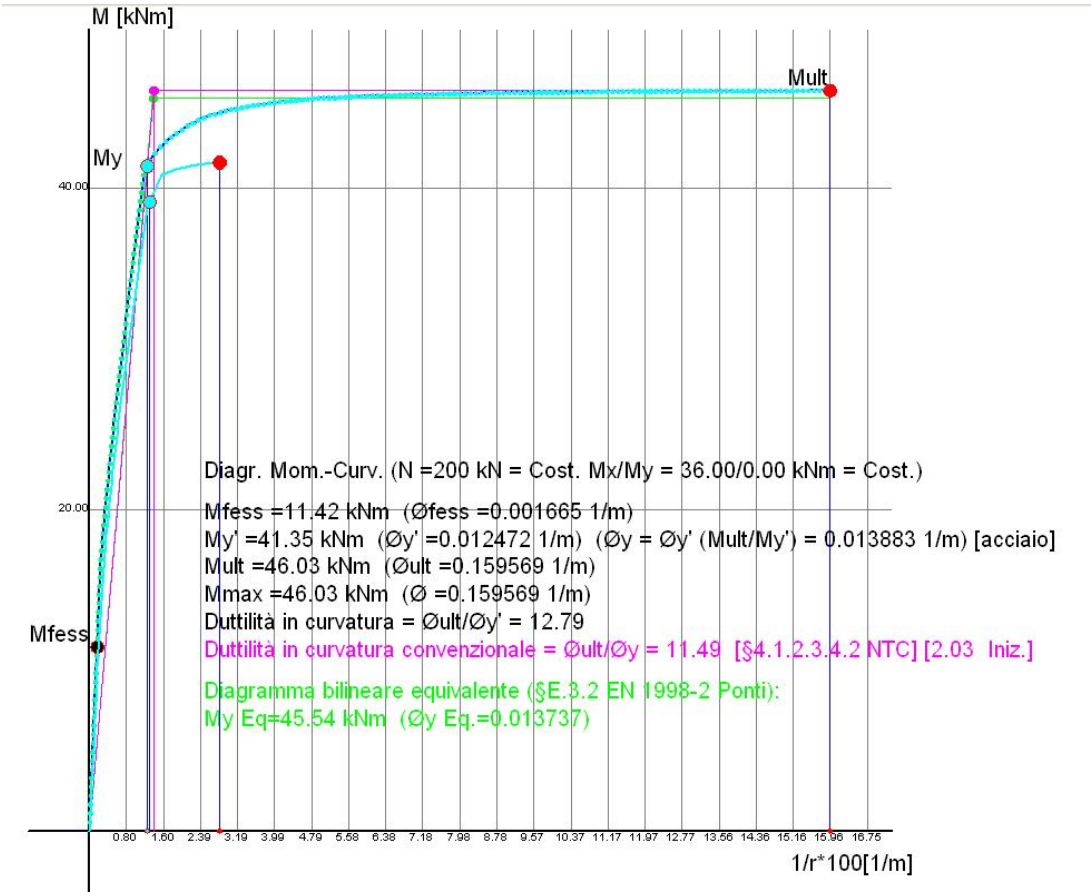
Si basano sui legami costritutivi dei materiali della sezione iniziale (con quelli del calcestruzzo eventualmente maggiorati in caso di confinamento) e su quelli dei materiali di rinforzo,

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).

© 2020 Geostru Software



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.

© 2020 Geostru Software

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:

$$\mathbf{E_d} \leq \mathbf{R_d}$$

in cui:

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

$\mathbf{R_d}$ 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

© 2020 Geostru Software

non figura la precompressione in quanto non trattata nelle presenti procedure di calcolo):

$$gG1G1 + gG2G2 + gQ1Qk1 + gQ2y02Qk2 + gQ3y03Qk3 + ...$$

essendo:

G1 il valore caratteristico del peso proprio della struttura

G2 il valore caratteristico dei pesi propri non strutturali

Gik il valore caratteristico del generico carico variabile i

Q1k il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione

Qik il valore caratteristico delle azioni variabili tra loro indipendenti

gG1 = 1,3 (= 1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

gG2 = 1,5 (= 0,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

gG2 = 1,3 se i carichi portati sono compiutamente definiti

gQi = 1,5 (= 0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

y0i = 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.I delle NTC.

© 2020 Geostru Software

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):

G1 + G2 + E + Sj y2j Qkj

in cui:

G1 valore caratteristico del peso proprio strutturale

G2 valore caratteristico dei carichi permanenti non strutturali

Qkj valore caratteristico delle azioni variabili j

y2j coeff. di combinazione quasi permanenti dei carichi variabili (Tab. 2.5.I 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 G1 pesi propri strutturali, dei carichi permanenti G2 non strutturali e dei carichi variabili caratteristici Qk sono presenti nel capitolo 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - delle NTC.

© 2020 Geostru Software

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 $\mathbf{E_d}$.

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[11]):

© 2020 Geostru Software

$$f_{cd} = f_{cm}/(\gamma_c \, FC)$$

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:

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

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:

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

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

Resistenze FRP:

$$R_d = R\{X_d; \alpha_d\}/\gamma_{Rd} \qquad (2.3) \text{ LG2009}$$

in cui: $X_d = \eta \, X_k/\gamma_f$ (2.2) LG2009

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

4.4 Sollecitazioni resistenti Rd

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

© 2020 Geostru Software

Per sollecitazioni semplici (sforzo normale, flessione, torsione) la verifica della sezione, a mezzo della relazione di sicurezza Ed £ Rd , 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 NEd ed MEd (sforzo normale e momento flettente); ad esse corrispondono infinite coppie di valori resistenti NR, MR 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 estresa 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:

© 2020 Geostru Software

- le sezioni si conservano piane fino a rottura;

- assenza di scorrimento relativo tra acciaio, calcestruzzo e materiali di rinforzo (FRP, incamiciature 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 aluna 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 eud = 0,9 euk essendo euk la deformazione unitaria ultima. Il diagramma di calcolo s-e si deduce dal diagramma caratteristico con un'affinità parallela alla tangente all'origine nel rapporto 1/gs.

© 2020 Geostru Software

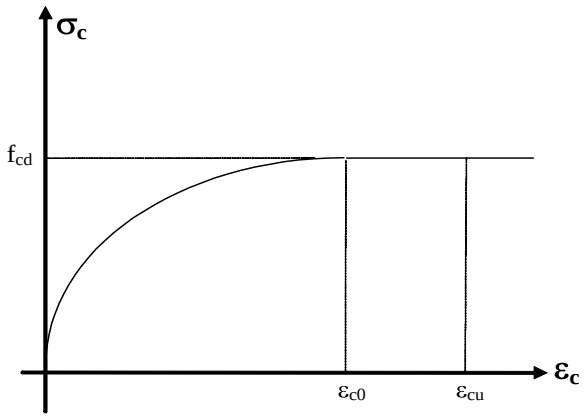
4.6 Diagramma di calcolo del calcestruzzo

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):

$$s = f_{cd}\,[1-(1-\varepsilon_c/\varepsilon_{c0})^n]$$



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 ε_{cu} = 0,0035. Per classi di resistenza superiori è (f_{ck} in Mpa):

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

(5.4)

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

© 2020 Geostru Software

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[123]. 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[58]. 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[11]). Si ha:

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

in cui $\gamma_c = 1.5$ = 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[123]); per il calcestruzzo non confinato la resistenza viene assunta pari a quella di progetto nei f_{ck} assegnata nell'apposita colonna dell'archivio materiali[58].

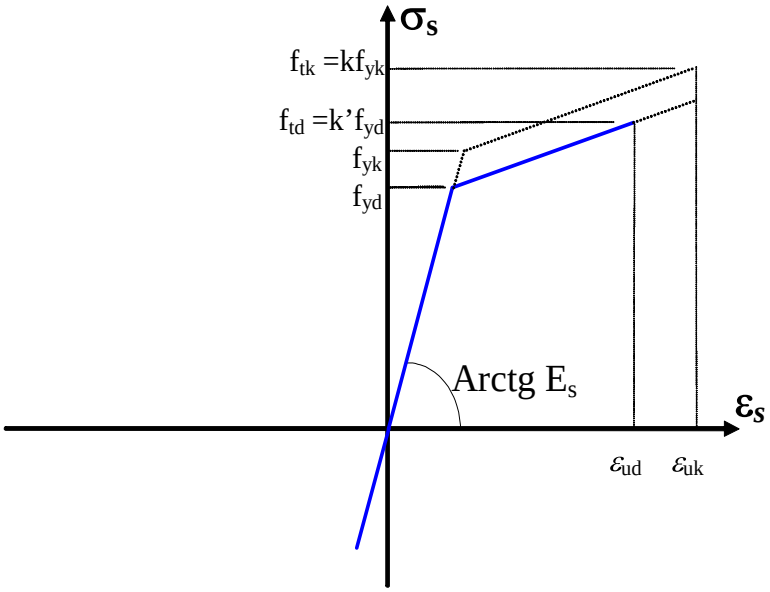
4.7 Diagramma di calcolo dell'acciaio

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

© 2020 Geostru Software

di rottura $f_{tk} \geq 540$ N/mm^2 ed una tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450$ N/mm² con $k=f_{tk}/f_{yk}$ (rapporto di sovraresistenza) 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 sovraresistenza.



Come deformazione ultima di progetto va assunto il valore di e_{ud} = 0,9 eud essendo e_{uk} la deformazione uniforme ultima che deve essere ≥ 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:

$f_{yd} = f_{yk}/g_s = 4500/1,15 = 3913$ daN/cm²
$e_{ud} = 0,9 \times 0,075 = 0,0675$
$f_{td} = k \cdot f_{yd} = 1,15 \times 3913 = 4500$

Nell'archivio materiali 58 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

© 2020 Geostru Software

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 ottene una resistenza maggiore in presso-tenso flessione.
Per l'acciaio da precompressione viene utilizzato lo stesso diagramma impiegato per gli acciai lenti sopra illustrato.
Per i calcoli di duttilità propedeudici 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 e_{ud} può assumersi il valore di 0.04 indicato nelle LG2009.
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 58. Lo stesso rapporto viene applicato per la definizione di f_{tm}.

© 2020 Geostru Software

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:

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

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

con γ_{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.

© 2020 Geostru Software

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

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

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

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

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 defaut dal programma) per prevalenti carichi distribuiti e 1.0 negli altri casi.

Il corrispondente valore della deformazione di progetto è ovviamente:

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

Valgono le stesse considerazioni svolte nel precedente paragrafo.

© 2020 Geostru Software

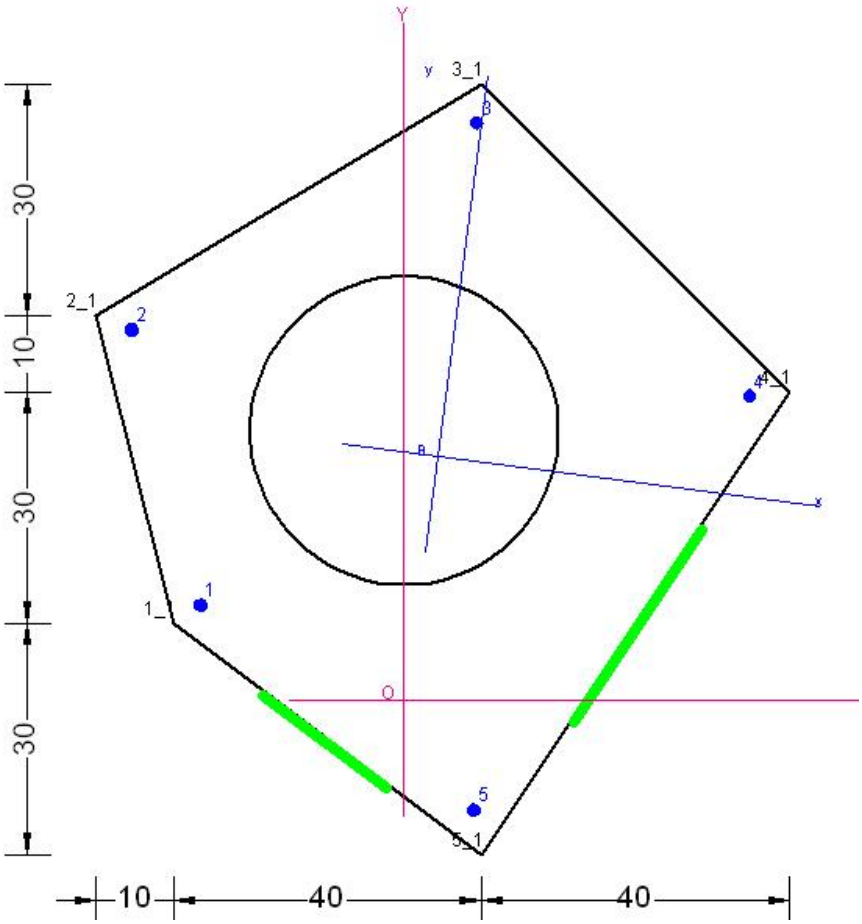
4.9 Campo di applicazione e convenzioni

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).

© 2020 Geostru Software



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, Mx, My vanno invece riferite agli assi principali d'nerzia 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.

© 2020 Geostru Software

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 Mx (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:

$$Mx_B = Mx - N\, y_B$$

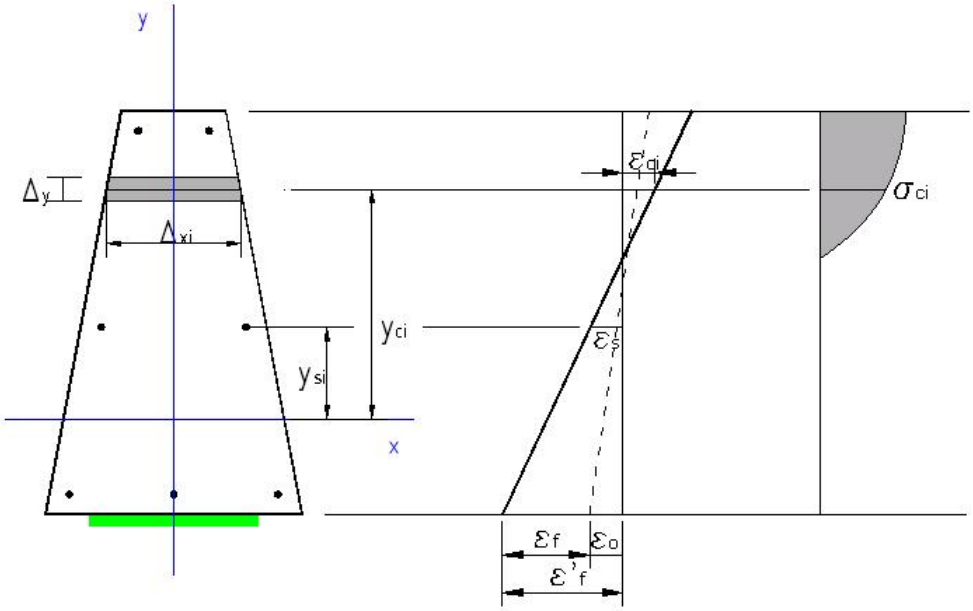
in cui y_B è l'ordinata del baricentro della sezione di solo conglomerato e lo sforzo normale N è ora pensato applicato in tale baricentro.
In presenza anche di My (sollecitazione deviata) il confronto tra le sollecitazioni agenti e resistenti verrà sempre riferito agli assi principali d'inerzia della 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.

© 2020 Geostru Software

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 Dy denominato in programma passo di discretizzazione. Detto passo (impostato inizialmente a 0,5 cm) può essere variato nelle opzioni di calcolo 67 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 Dy. L'area della generica striscia i sarà, quindi, fornita da:

$$A_{c\,i} \approx \Delta x_i \,.\, \Delta y$$



Con le notazioni di figura gli sforzi N , Mx, 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:

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

$$Mx = \int_{A_c} \sigma_c \cdot y_c \cdot dA_c + \Sigma A_{si}\ \sigma_{si}\ y_{fi} \cong \Sigma_n A_{ci}\ \sigma_{ci}\ y_{ci} + \Sigma A_{si}\ \sigma_{si}\ y_{fi}$$

Nelle sommatorie, riferite solo al calcestruzzo ed acciaio della sezione iniziale, si è assunta la tensione s_{ci} del conglomerato costante su tutta l'area A_{ci} della generica striscia i, ed il suo valore computato (sul diagramma di calcolo s-ε) in

© 2020 Geostru Software

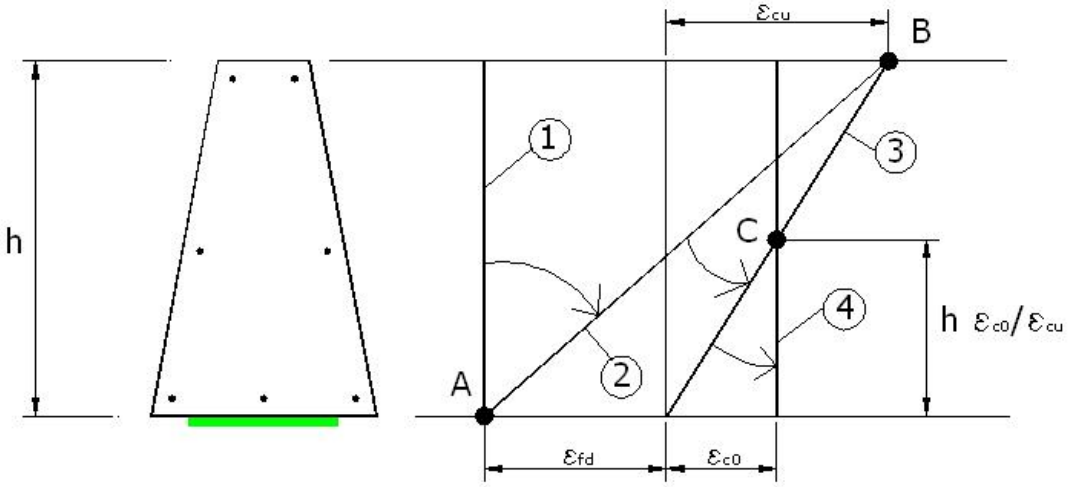
corrispondenza della deformazione unitaria letta all'altezza della fibra media della striscia medesima.
A dette sommatorie vanno aggiunti gli sforzi dei materiali di rinforzo tenendo conto della deformazione iniziale presente prima del rinforzo (linea tratteggiata in figura). Nel caso illustrato relativo 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_0 in corrispondenza della stessa fibra. Il contributo del rinforzo agli sforzi vale pertanto:

$$DN = A_f E_f \varepsilon_f = A_f E_f (\varepsilon'_f - \varepsilon_0)$$
$$DMx = A_f E_f \varepsilon_f y_f$$

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 § 3.2.2.2 LG2009 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 esegue un calcolo lineare della sezione iniziale con un coefficiente di omogeneizzazione medio forfettizzato 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 2000000 da/cm² - ed un modulo elastico per il calcestruzzo pari a 2000000/15 = 133333 daN/cm²).
Il momento resistente ultimo baricentrico viene, infine, ottenuto mediante l'applicazione della: $Mx_B = Mx - N?y_B$
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 Δy = 0,5 cm. Riducendo ulteriormente tale passo i risultati in termini di sforzi resistenti variano di quantità sempre trascurabili.

© 2020 Geostru Software

4.12 Campi di rottura

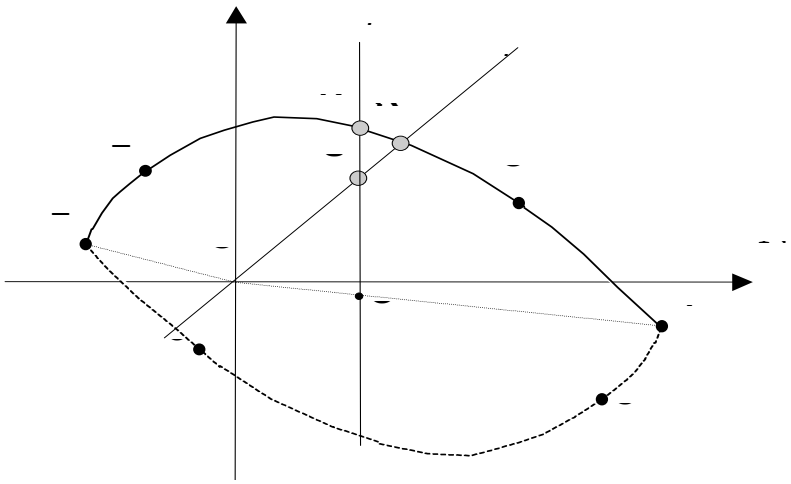


Si consideri la generica sezione soggetta, per semplicità di esposizione, ad una sollecitazione retta. Per l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane assunta e per le già descritte limitazioni imposte alle deformazioni unitarie di conglomerato, acciaio e rinforzi FRP, le configurazioni deformate 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 curvature 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

© 2020 Geostru Software

barre inferiori con deformazione pari a ε_{su}. Gli altri assetti che non interessano i materiali di riforzo 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[97], 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[95] prima definite assumendo una espressione analitica della deformazione rettilinea del tipo:

$$\varepsilon(y) = b\ y + c \qquad (1)$$

in cui:

$b = c_x$ = curvatura intorno all'asse x

© 2020 Geostru Software

$c = e_O$ = deformazione in corrispondenza dell'origine O degli assi di riferimento

I coefficienti b, c della retta (1), vengono determinati a partire dalle deformazioni ε_P , ε_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[97] prima indicati, è facile calcolare un qualunque punto {N, Mx} 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 curvature b_2 e b_3 riferite al pivot B definito nel precedente paragrafo[97]. 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):

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

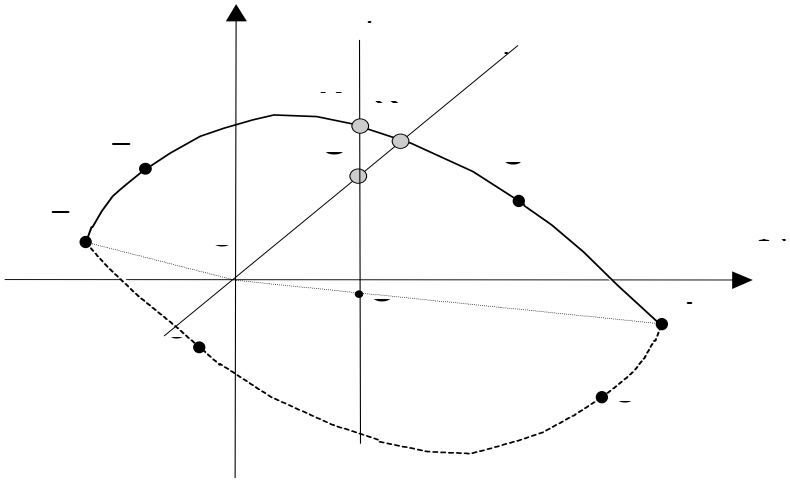
L'integrazione delle tensioni[95] fornisce, infine, la coppia dei valori di frontiera N, Mx cercati.

Suddiviso l'intervallo $b_2 - b_3$ in un numero qualsiasi n di curvature, si ottengono in corrispondenza n punti rappresentativi di altrettante coppie di sforzi {N, Mx} 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-Mx 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.

© 2020 Geostru Software

4.14 Misura della sicurezza

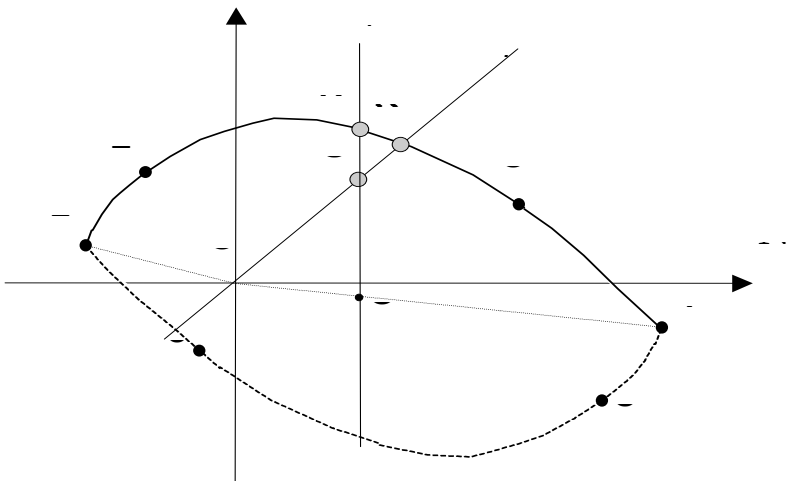


Assegnata una generica coppia di sollecitazioni di progetto {N_S ; Mx_S} rappresentata in figura dal punto S, la sezione si considera verificata se S risulta interno al dominio di resistenza o al più appartenente alla curva di frontiera del dominio medesimo. Il problema sarebbe esaurito se si volesse 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. E' 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

© 2020 Geostru Software

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 = cost.). La retta *r'* corrisponde invece alla misura a sforzo normale costante.
Il programma consente, nella scheda dei dati generali 16, 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-

© 2020 Geostru Software

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:

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

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 [97] 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

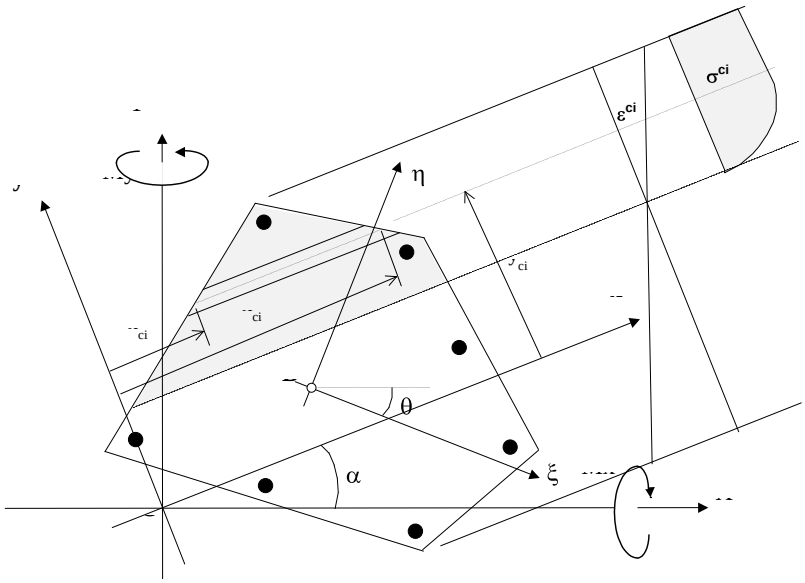


Fig.1

© 2020 Geostru Software

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 My*.
L'integrazione numerica può eseguirsi con le seguenti sommatorie:

$$
\begin{aligned}
N &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot dA_c + \Sigma\, A_{si} \cdot \sigma_{si} &&\cong \Sigma_n A_{ci}\, \sigma_{ci} + \Sigma\, A_{si}\, \sigma_{si} \\
Mx^* &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot y_c \cdot dA_c + \Sigma\, A_{si} \cdot \sigma_{si} \cdot y_{fi} &&\cong \Sigma_n A_{ci}\, \sigma_{ci}\, y_{ci} + \Sigma\, A_{si}\, \sigma_{si}\, y_{fi} \\
My^* &= \int_{A_c} \sigma_c \cdot (-x_c) \cdot dA_c - \Sigma\, A_{si} \cdot \sigma_{si} \cdot x_{fi} &&\cong -\Sigma_n A_{ci}\, \sigma_{ci}\, x_{ci} - \Sigma\, A_{si}\, \sigma_{si}\, x_{fi}
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

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

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

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

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: $\varepsilon - \varepsilon_{c0}$ (vedi integrazioni delle tensioni 95).

© 2020 Geostru Software

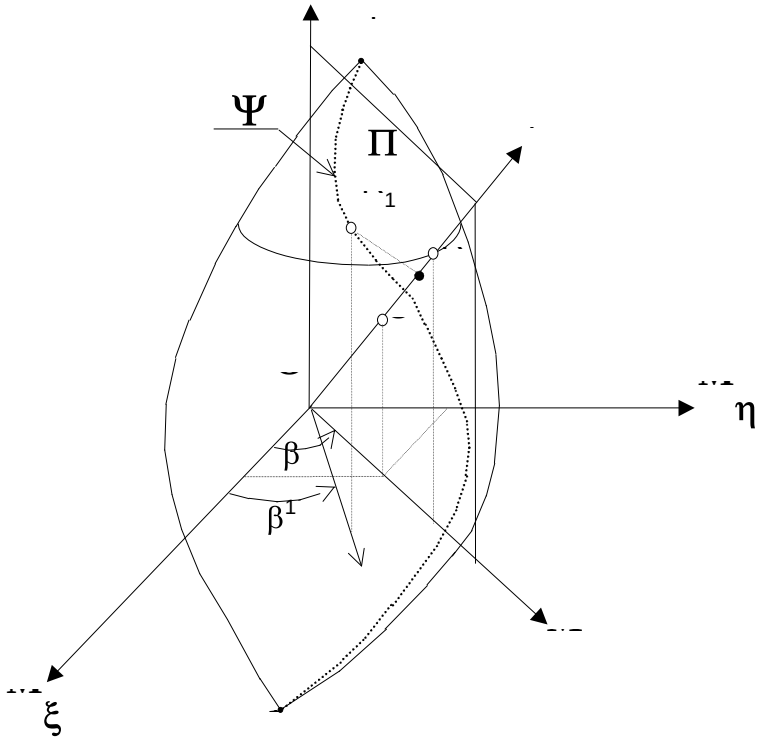


Fig.2

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

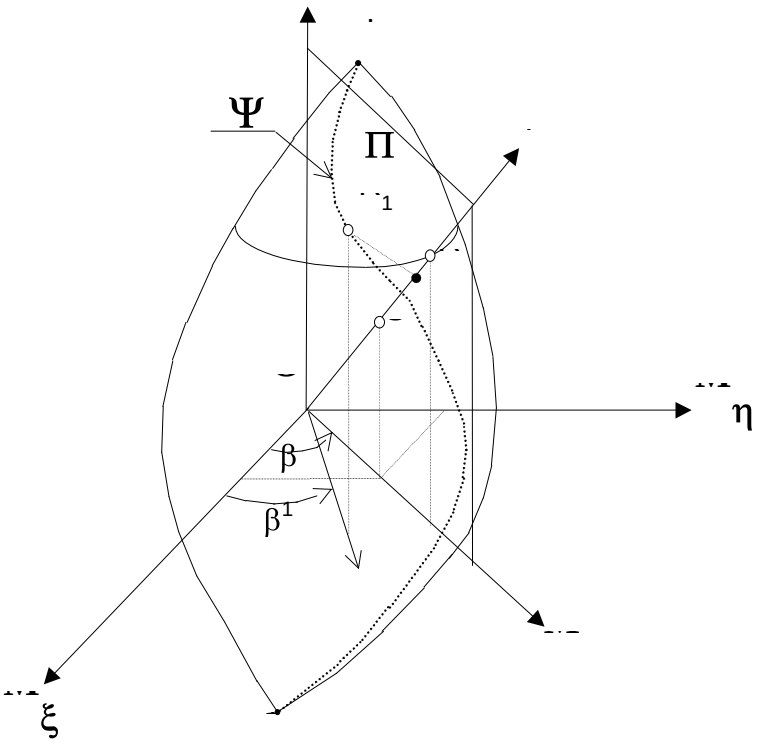
$$M\xi = Mx^* \cos\theta + My^* \sin\theta + N\ y_R$$
$$M\eta = -Mx^* \sin\theta + My^* \cos\theta - N\ x_R$$

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 $\mathbf{R}\{N_{Rd}, M\eta_{Rd}, M\xi_{Rd}\}$ 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 cuspide 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 [97]. L'applicazione delle (1) e poi delle (2) conduce alla

© 2020 Geostru Software

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 cuspide 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 100. 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 $\overline{\mathbf{OR}}$ ed $\overline{\mathbf{OS}}$ 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:

© 2020 Geostru Software

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

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 95 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:

$$\beta_i \le \beta \le \beta_{i+1}$$

con $\beta_i \le \beta_{i+1}$

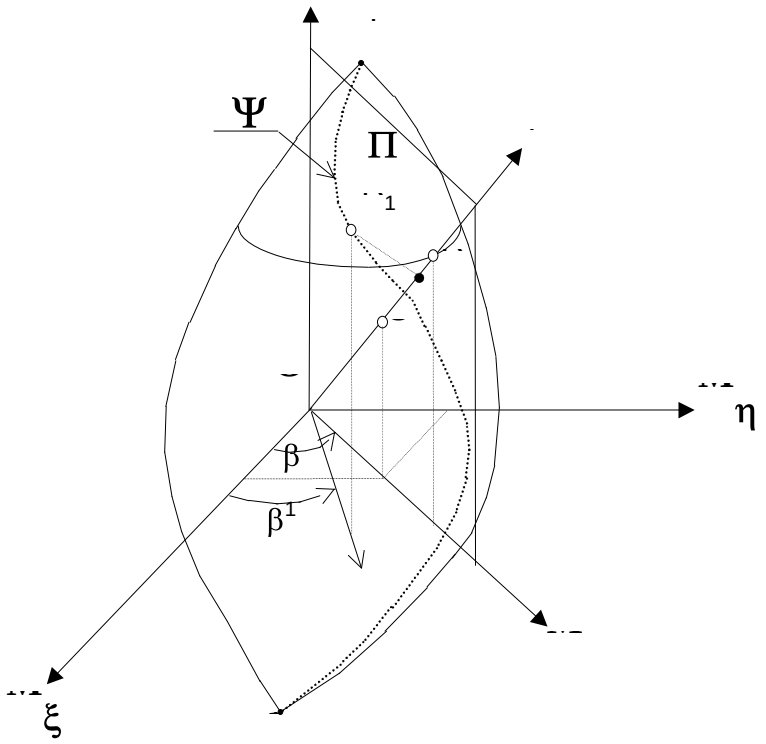
A questo punto la convergenza verso il voluto valore di β è assicurata, entro una prefissata tolleranza angolare, mediante il solito procedimento della bisezione.

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

© 2020 Geostru Software

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 **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 Mξ*,Mη* con origine nel punto **O'** come sopra definito e paralleli agli assi Mξ, Mη generali in figura. Quindi, ad ogni valore di N corrisponde un diverso piano di misura Mξ*,Mη* sia dell'angolo β che della sicurezza $\overline{\mathbf{O'R}}$ / $\overline{\mathbf{O'S}}$.



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 Mξ*,Mη* 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 Mx-My 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.

5 Confinamento e resistenza

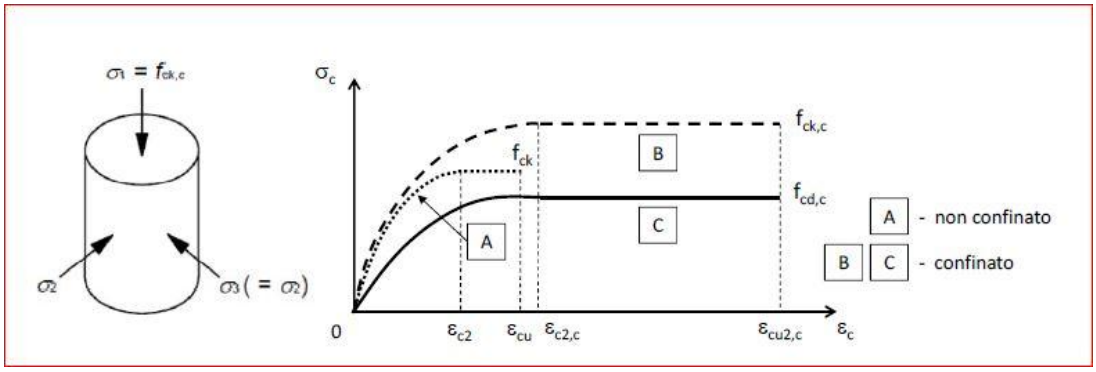
Premesso che il confinamento delle sezioni di pilastri in c.a. è

© 2020 Geostru Software

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

© 2020 Geostru Software

per sovrapposizione o per aderenza della vecchie barre; indicazioni (non quantitative) al riguardo sono indicate nel §C8A.7 delle Istruzioni NTC.

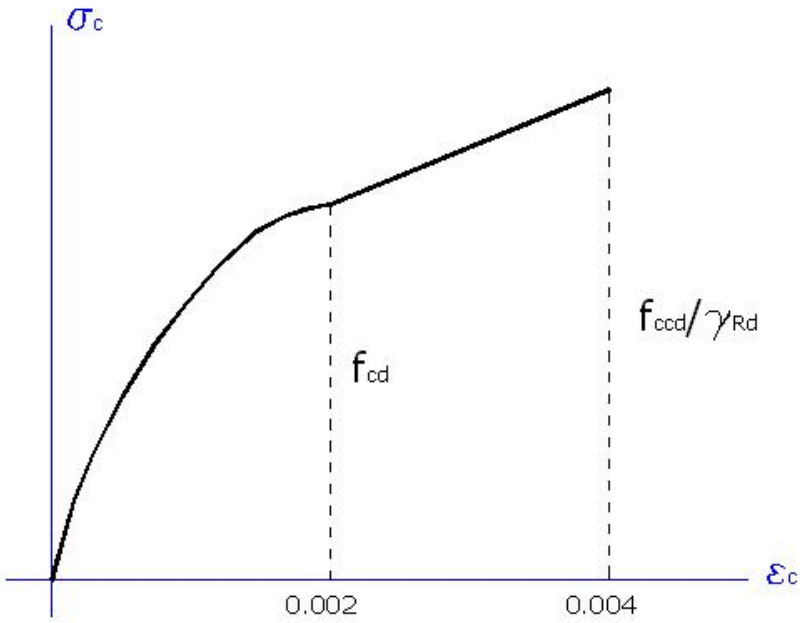
5.1 Confinamento con FRP

L'argomento è trattato estesamente nel § 4.5 delle CNR-DT 200 2013[262].

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'incrementto di duttilità in curvatura che verrà trattata nel capitolo successivo (confinamento e duttilità[123]).

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:

© 2020 Geostru Software



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 della massima resistenza da confinamento di calcolo pari a f_{ccd} come valutata nel seguito ridotta a mezzo del coeff. parziale γ_{Rd} = 1.10 di cui alla formula (4.30) delle CNR2013. Si ricorda di evitare di superare il numero di 5 strato 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 um momento flettente piccolo in confronto allo sforzo normale di progetto (cioè una piccola eccentricità) il programma va eseguito settando nei dati generali 16 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 fccd viene valutata con la (4.31) nel § 4.5.2 CNR2013:

© 2020 Geostru Software

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

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

$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_\alpha$ = coeff. efficienza (≤1) valutato con le formule del § 3.5.2.1 LG2009

$f_l = 0.5\, r_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid}$ = pressione di confinamento valutata con le formule dei § 4.5.2.1 CNR2013

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min\{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk}/\gamma_f\ ;\ 0.004\}$$

(4.37)CNR2013

L'applicazione diretta della (4.30)CNR2013:

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

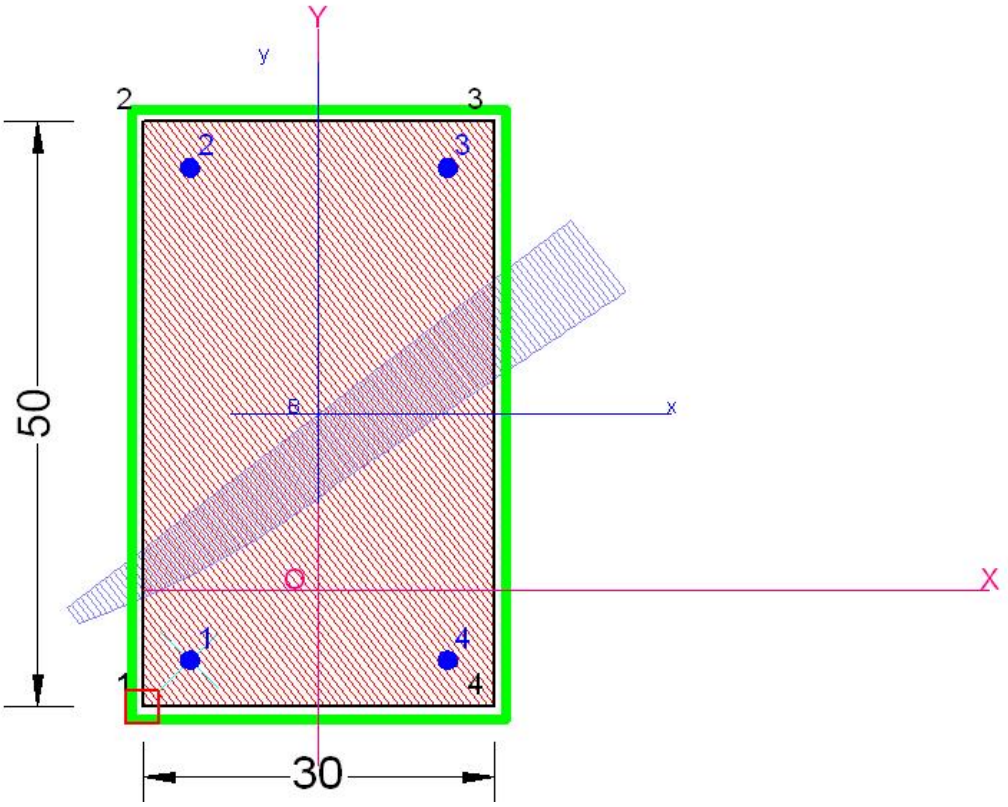
consente di cogliere subito il valore massimo dello sforzo normale resistente dopo il confinamento. Lanciando il programma è comunque possibile dedurre dai risultati del calcolo il valore f_{ccd} ed applicare direttamente la (4.30).

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 16 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.

© 2020 Geostru Software



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 LG2009.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Compressione_FRP_rd.sezfrp

(Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\VB98\RC_SEC_FRP_NEW\PROVE_NEW\Compressione_FRP_rd.sezfrp)

Descrizione Sezione:	
Tipologia sezione iniziale:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A rapporto M/N costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Sezione iniziale:	Rck250	
	Resist. di calcolo fcd:	113.30	daN/cm²
	Deform. alla max resistenza epc0:	0.0020	
	Def.unit. ultima epcu:	0.0035	daN/cm²
	Legge tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	

© 2020 Geostru Software

	Modulo Elastico Normale Ec:	299600	daN/cm²
	Resis. media a trazione fctm:	22.10 daN/cm²	
	Coeff. Viscosità post-rinforzo (solo S.L.E.) :	0.00	
	Resist. confinata max (al max parabola):	113.30	daN/cm²
	Resist. confinata alla deform. ultima:	169.53	daN/cm²
	Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0020	
	Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0040	daN/cm²
ACCIAIO -	Barre Sez. Iniziale Tipo:	Feb44k	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4300.0	daN/cm²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4300.0	daN/cm²
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3739.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3739.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.036	
	Modulo Elastico Es	2000000	daN/cm²
	Legge tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
FRP -	In Tessuto o lamine per CONFINAMENTO:	FRP_1	
	Calcolo secondo LG2009 = Linee guida del Dip. prot. civile(Sett. 2009)		
	Fattore convers. EtaA per Applic. TIPO A ($2.5.1 LG2009)	0.950	
	Modulo elastico ridotto Ef (coeff.rid.= AfE ex $5.3 LG2009):	2350000	daN/cm²
	Resist. caratt. rottura ridotta ffk (coeff.rid.= Aff ex $5.3 LG2009):	28000	daN/cm²
	Deform. caratt. a rottura e_fk= ffk/Ef	0.0119	
	Deform. a rottura per calcolo resistenza (formula [3.18]LG2009)	0.0040	
	Deform. a rottura per calcolo curvature (formula [3.44]LG2009)	0.0071	
	Lunghezza ottimale di ancoraggio Le (formula [3.1]LG2009)	163 mm	
	Spessore tf singolo strato tessuto/lamina	0.17 mm	
	Numero strati tessuto/lamina	3	
	Raggio di curvatura rc (>=20 mm) spigoli sezione cls.	20 mm	
	Coeff. efficienza orizzontale kH ([3.42] LG2009)	0.376	
	Coeff. efficienza verticale kV ([3.36] LG2009)	0.0053	
	Percentuale geometrica di rinforzo Ro_f ([3.39]/[3.41]LG2009):	8.3 %	
	Pressione laterale efficace di confinamento f1,eff ([3.33]LG2009):	9.4 daN/cm²	
	Resistenza calcestruzzo confinato fccd([3.32]LG2009):	169.5 daN/cm²	
	Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza :	0.004	
	Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità ($3.5.3 LG2009):	113.3 daN/cm²	
	Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di duttilità:	0.0093	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

DOMINIO SEZ. INIZIALE N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: Rck250

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	-10.0
2	-15.0	40.0
3	15.0	40.0
4	15.0	-10.0

DATI BARRE ISOLATE SEZ. INIZIALE (Acciaio Feb44k)

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-11.0	-6.0	16
2	-11.0	36.0	16

© 2020 Geostru Software

3	11.0	36.0	16
4	11.0	-6.0	16

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro	0
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo	0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo	0

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

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	50000	1000	500	0	0
2	50000	-1000	-500	0	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] 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	50000	1000	500	198929 (177730)	3985 (3559)	1976 (1769)	3.979
2	S	50000	-1000	-500	198929 (177730)	-3985 (-3559)	-1976 (-1769)	3.979

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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.)

© 2020 Geostru Software

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.)

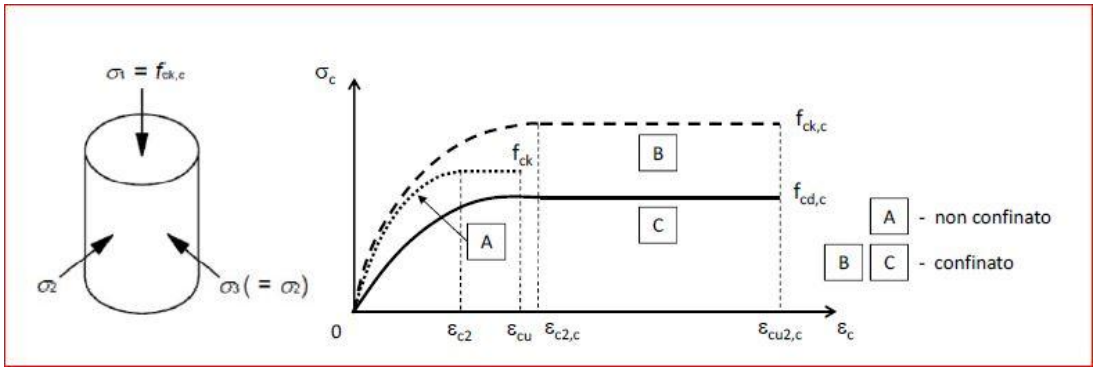
N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00400	0.00216	15.0	40.0	0.00362	11.0	36.0	0.00070	-11.0	-6.0
2	0.00400	0.00216	-15.0	-10.0	0.00362	-11.0	-6.0	0.00070	11.0	36.0

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	0.000053815	0.000041383	0.001537458
2	-0.000053815	-0.000041383	0.002778949

5.2 Confinamento con camicia in ca



L'incamiciatura 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:

© 2020 Geostru Software

$$f_{ck,c} = f_{ck}(1.000 + 5.0\, s_2/f_{ck}) \quad \text{per } s_2 \le 0.05\, f_{ck} \qquad (4.1.8)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck}(1.000 + 2.5\, s_2/f_{ck}) \quad \text{per } s_2 > 0.05\, f_{ck} \qquad (4.1.9)$$

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2}\, (f_{ck,c}/f_{ck})^2 \qquad (4.1.10)$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu} + 0.2\, s_2/f_{ck} \qquad (4.1.11)$$

dove s_2 è la tensione di compressione laterale efficace (tensione di confinamento) allo SLU, e le deformazioni ε_{c2} $\varepsilon_{cu,c}$ sono illustrate nel grafico.
Il valore di picco della tensione di progetto confinata (vedi figura) vale:

$$f_{cd,c} = \alpha_{cc}\, f_{ck,c} / \gamma_c = 0.85\, f_{ck,c} / 1.5 \qquad (4.1.12)$$

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

$$s_2 = a_n\, a_s\, s_l$$

in cui a_n a_s s_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

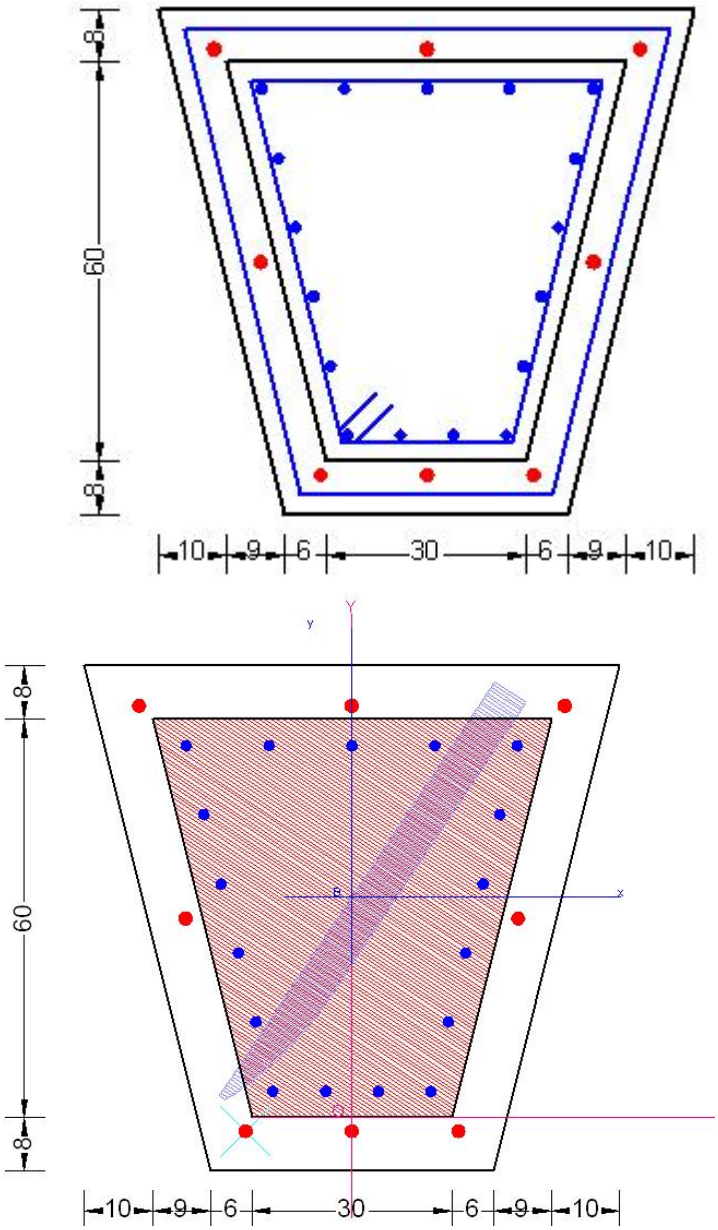
© 2020 Geostru Software

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 rigidezza 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 al valore di f_{ck} si è sostituito il valore di f_{cm}/FC trattandosi di struttura esistente in cui 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 generali 16, il percorso di sollecitazione ad eccentricità costante.
La sottoriportata sezione trapezia incamiciata di un pilastro è stata calcolata in presso flessione deviata con percorso ad eccentricità costante 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

© 2020 Geostru Software

flessionale viene considerata la sola sezione esistente e le relative barre longitudinali. 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 16 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

© 2020 Geostru Software

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 150.

BARRE LONGITUDINALI PASSANTI PER I NODI

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

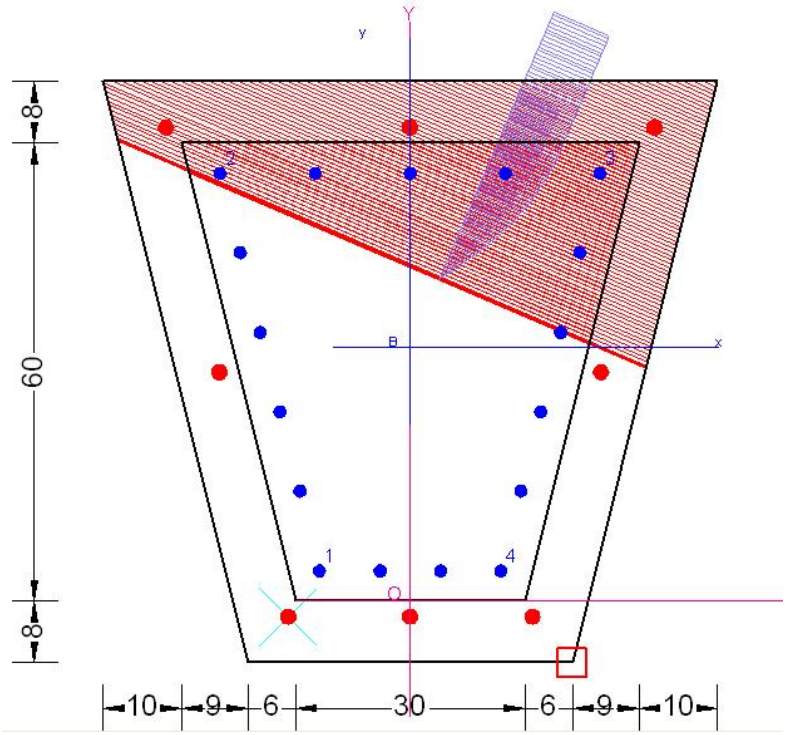
Le nuove barre longitudinali presenti nella camicia vengono collegate (tramite foratura dei solai ed appositi manicotti filettati) alle barre dei pilastri (pure essi rinforzati) superiore ed inferiore. Si ha così un notevole aumento della resistenza del pilastro sia in pressoflessione che per taglio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

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.

© 2020 Geostru Software



© 2020 Geostru Software

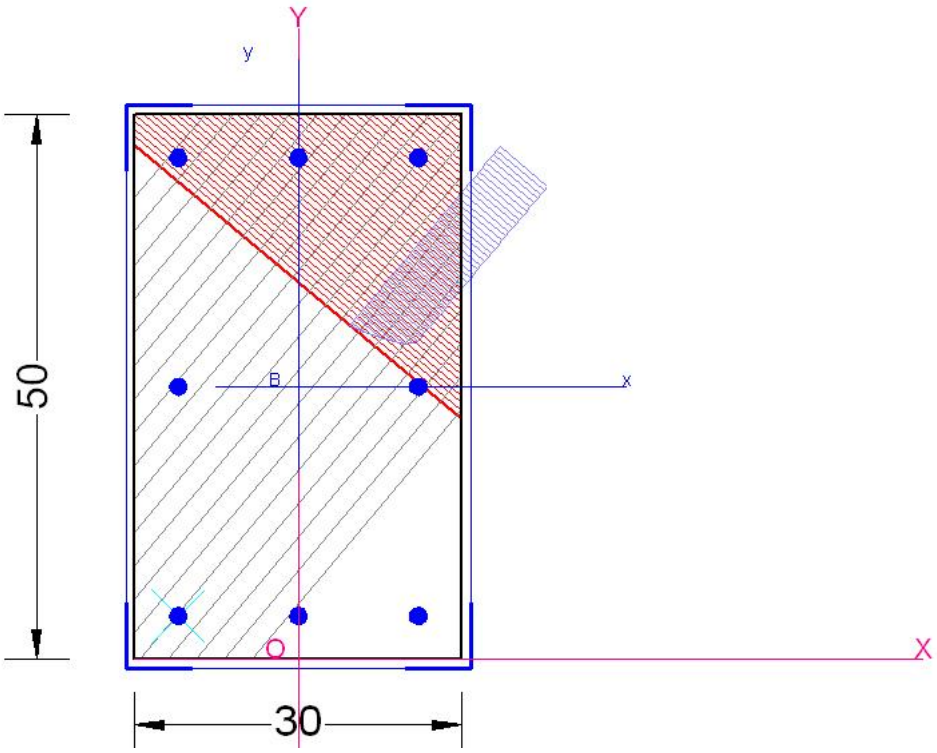
5.3 Cerchiatura con angolari e bande/nastri

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'obbiettivo 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 cls). Anche gli angolari, per quanto detto, non vengono nè assegnati nè presi in conto nel calcolo.

L'input è costituito dalla scelta del tipo di acciaio (da definire o già definiti nell'archivio materiali 58) 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.

© 2020 Geostru Software



© 2020 Geostru Software

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 m_f richiesto dalle NTC:

$$m_f \geq \max\{\ 1{,}2(2q_0 - 1) \ \text{ per } T_1 \geq T_C\ ; \quad 1{,}2[1+2(q_0-1)\ T_C/T_1] \ \text{ per } T_1 < T_C\ \}$$ (7.4.3) NTC 2018

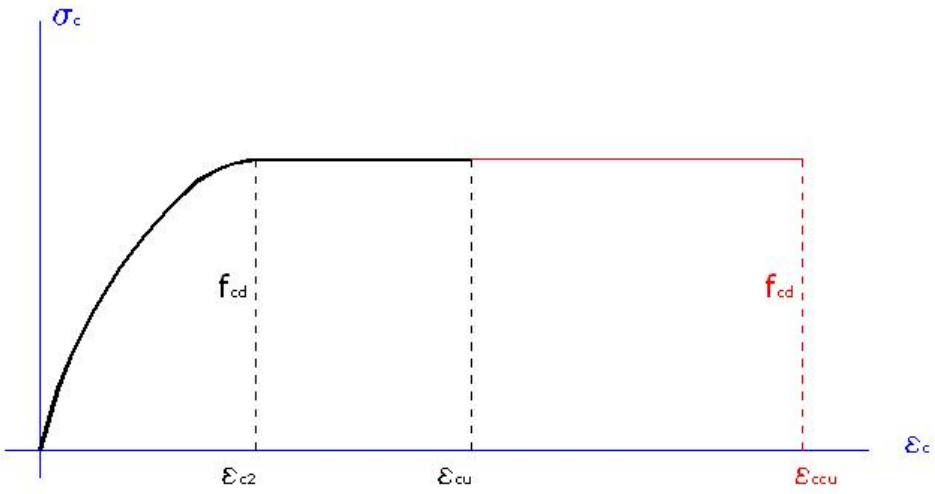
dove T_1 è il periodo proprio fondamentale della struttura, T_C è il valore impiegato nello spettro di progetto, e q_0 è il valore base del fattore di struttura.
La duttilità di curvatura viene calcolata come il rapporto tra la curvatura cui corrisponde il raggiungimento delle deformazioni ultime del 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 ≤ 1,5.

© 2020 Geostru Software

2) Nel caso in cui si proceda ad un'analisi non lineare (pushover). E qui diventa importante valutare le rigidezze 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 58. 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 curvature) si adotta la legge tensioni deformazioni in figura suggerita nel §4.5.3 CNR2013 e basata

© 2020 Geostru Software

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:

$$\varepsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \sqrt{(f_{l,eff}/f_{cd})} \quad (3.43)$$

LG2009 / (4.41)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)

$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_\alpha$ = coeff. efficienza (≤1) valutato con le formule del § 3.5.2.1 LG2009

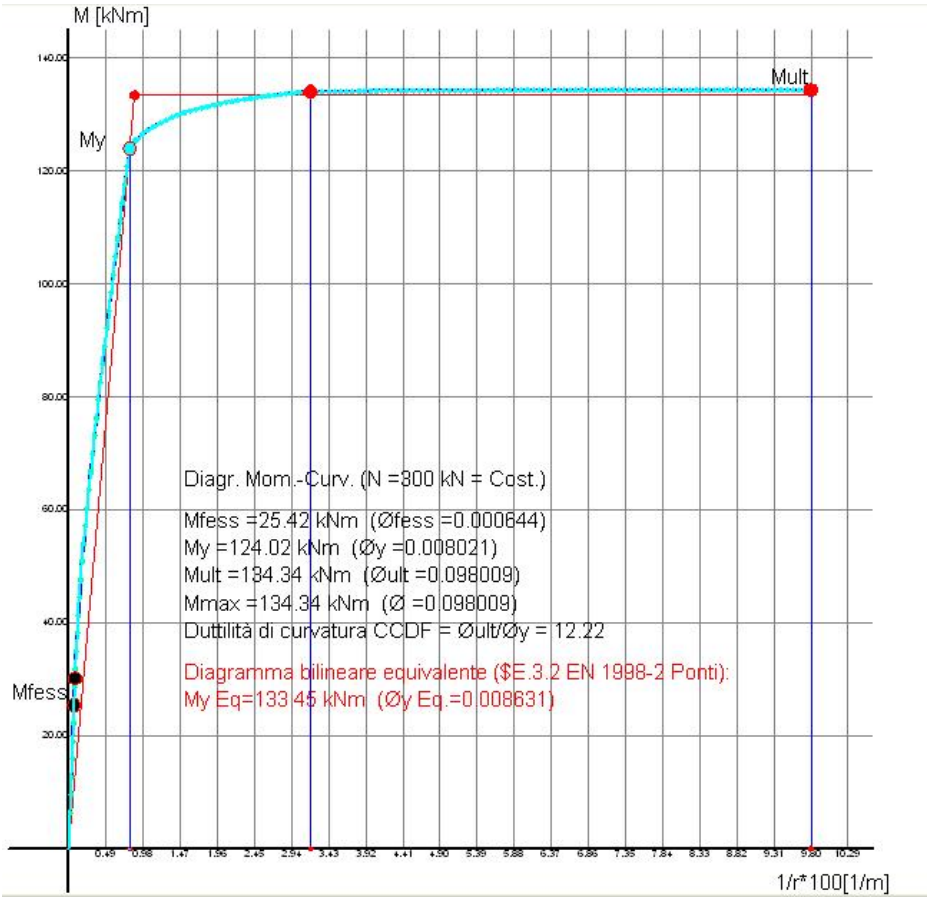
$f_l = 0.5\, r_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid}$ = pressione di confinamento valutata con le formule dei § 3.5.2.1-3.5.2.1.1-3.5.2.1.2 LG2009

$$\varepsilon_{fd,rid} = \eta_a \cdot \varepsilon_{fk}/\gamma_f \leq 0.6\, \varepsilon_{fk} \quad (3.44)$$

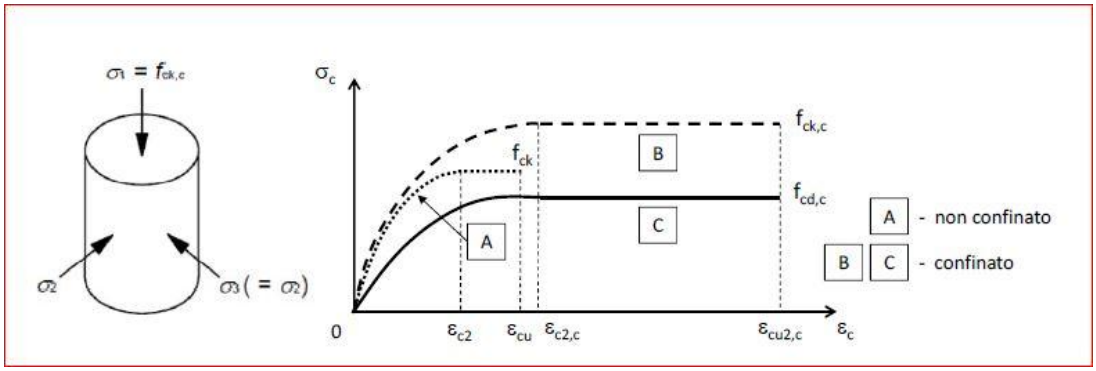
LG2009 / (4.42)CNR2013

Sulla base del descritto legame tensioni deformazioni del calcestruzzo confinato nonchè 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.

© 2020 Geostru Software



6.2 Duttilità con camicia in ca



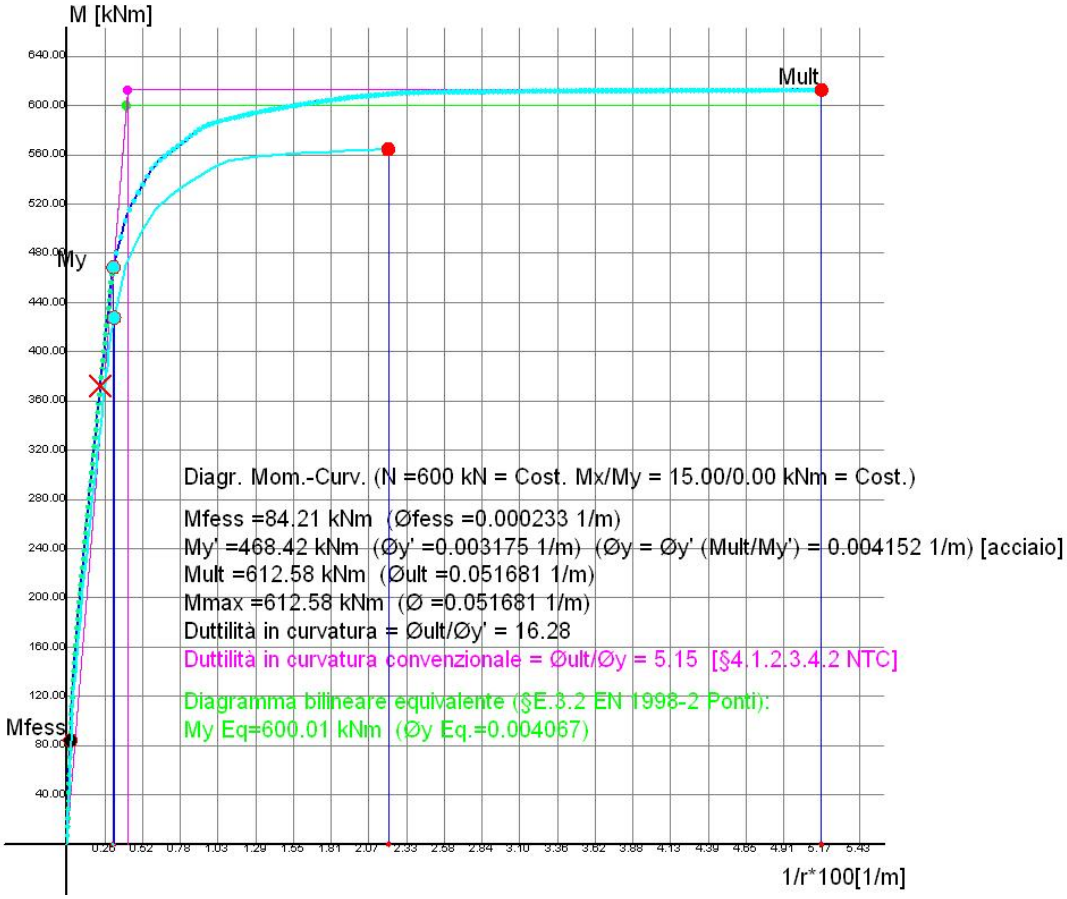
BARRE LONGITUDINALI NON PASSANTI PER I NODI

In questo caso nella costruzione del diagramma momenti curvature 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

© 2020 Geostru Software

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 afficacia 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 curvature 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.

© 2020 Geostru Software



BARRE LONGITUDINALI PASSANTI PER I NODI

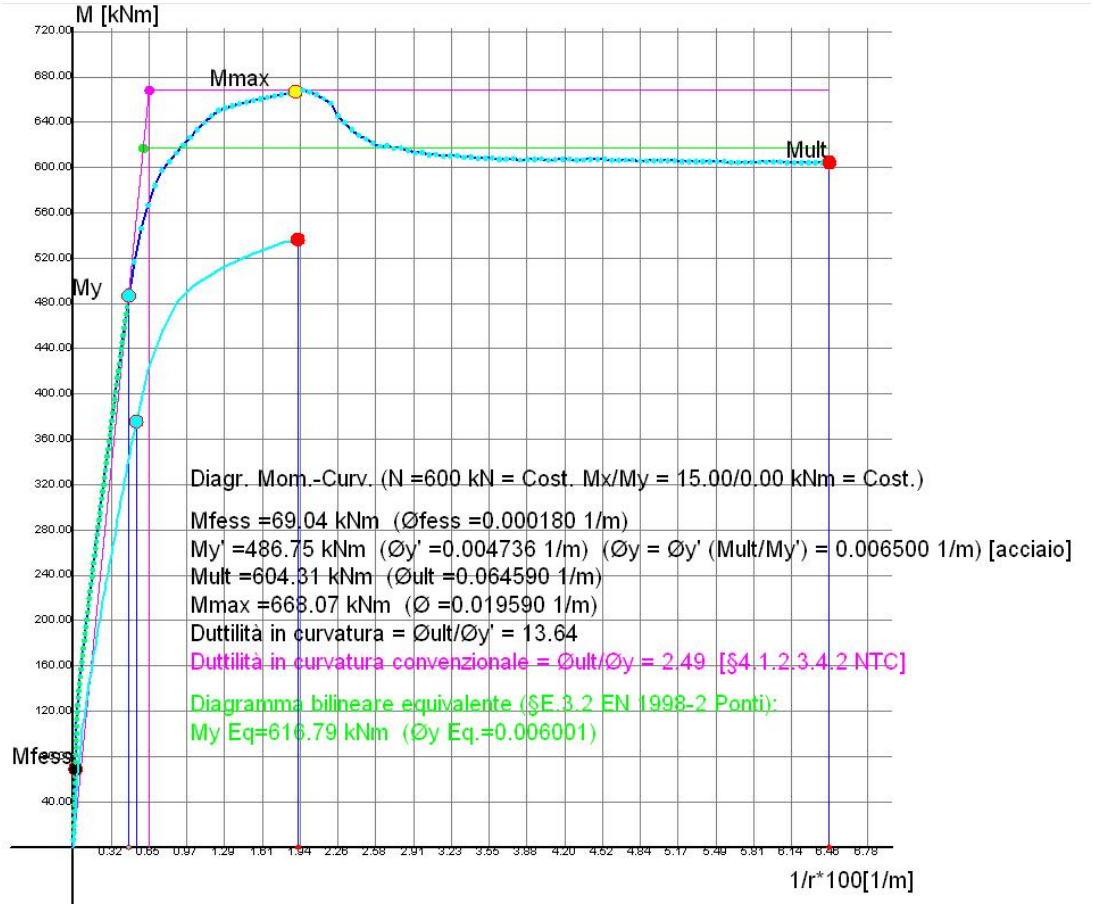
In questo caso viene considerato resistente anche il calcestruzzo, considerato interamente non confinato, della camicia ed anche le nuove barre longitudinali e trasversali in essa disposte. Per il calcestruzzo confinato della vecchia sezione viene sempre impiegato il legame costitutivo parabola-rettangolo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

© 2020 Geostru Software

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.



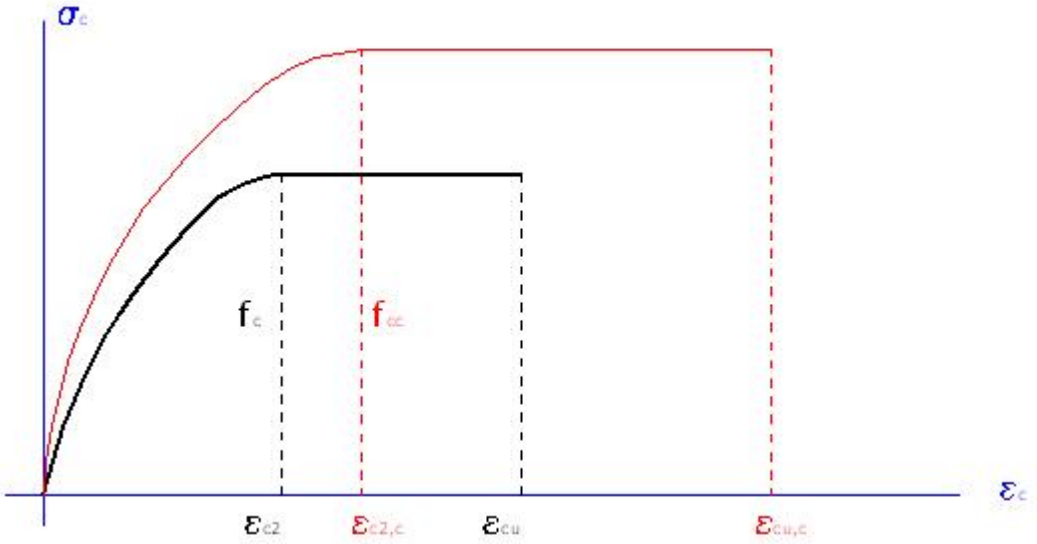
Nel caso in cui i valori di curvatura a snervamento F_y e a rottura F_u vengano impiegati per ottenere le corrispondenti deformabilità di rotazione a snervamento ed ultima θ_y,θ_u queste ultime vanno ridotte al 90% del loro valore in virtù delle (C8A.7.3) e (C8A.7.4) delle Istruzioni NTC.
Si fa notare 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:

© 2020 Geostru Software

- 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 fattoti di confidenza FC (verifica di capacità)

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

6.3 Duttilità 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 calestruzzo 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):

$$f_{cc} = f_c \, [\, 1+3.7(0.5\, \alpha_n \, r_s \, f_y / f_c)0.86]$$

(C8A.7.6)

© 2020 Geostru Software

dove r_s è il rapporto volumetrico di armatura trasversale:

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

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

f_y = tensione di snervamento bande (nastri)

$$\alpha_n = 1 - [(b-2R)^2+(h-2R)^2]/(3\ b\ h)$$

(C8A.7.7a)

$$\alpha_s = [1 -(s- h_s)/(2\ b)]\cdot[-(s-h_s)/(2\ h)]/(3\ b\ h)$$

(C8A.7.7b)

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

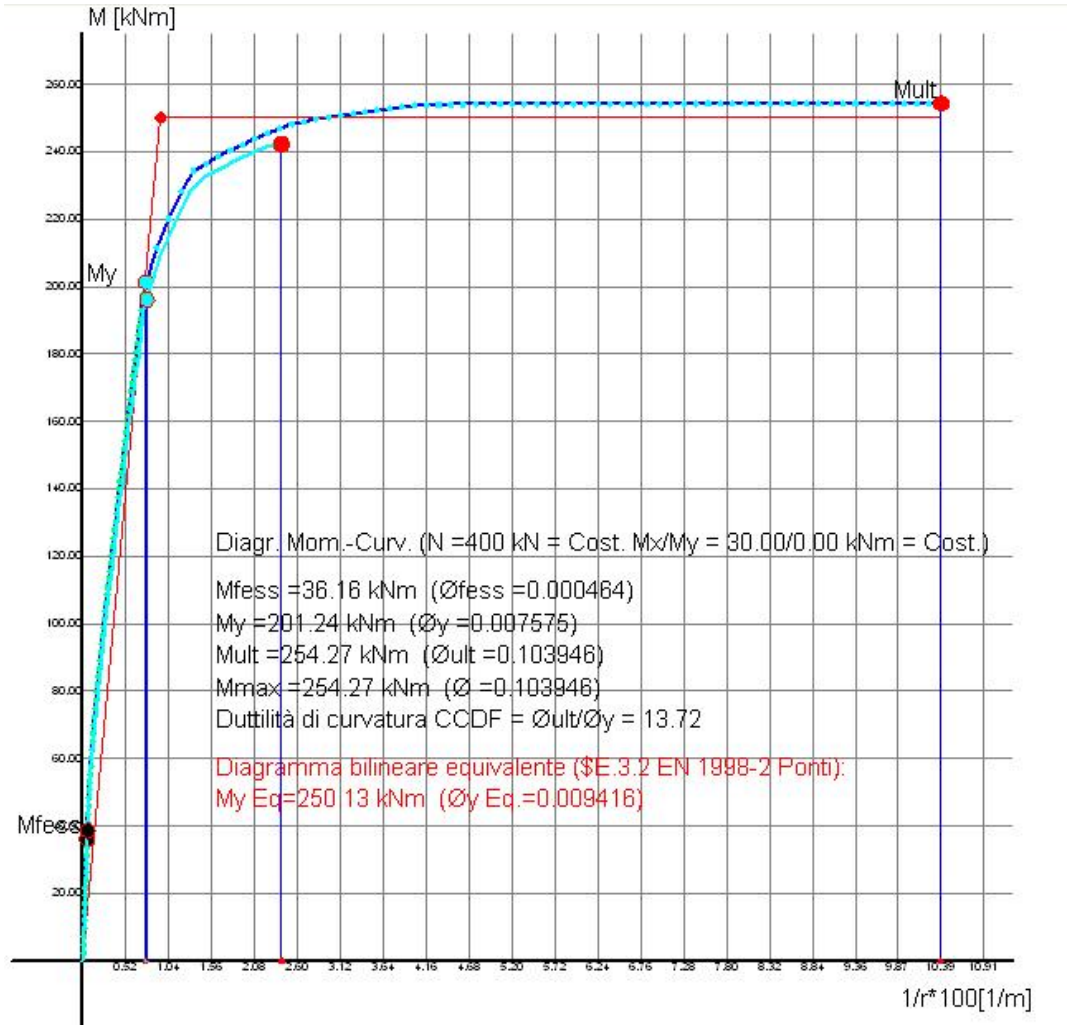
R è il raggio di arrotondamento degli spigoli della sezione da assumere pari al minore tra la lunghezza del lato degli angolari e 5 volte lo spessore degli stessi.

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.004 + 0.5\ (0.5\ \alpha_n\ \alpha_s\ r_s\ f_y)\ /\ f_{cc}$$

(C8A.7.8)

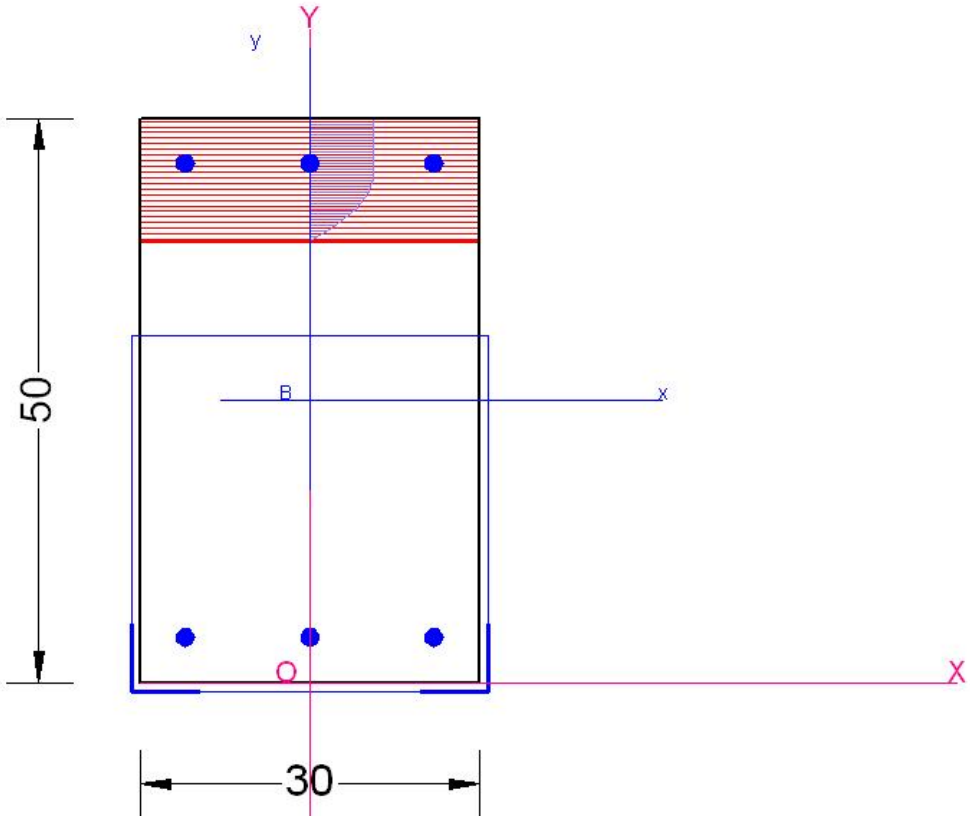
Il seguente diagramma momenti curvature di una sezione cerchiata con bande discontinue illustra la notevole differenza di duttilità tra la sezione iniziale (colo ciano) e quella finale confinata.

© 2020 Geostru Software



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.

© 2020 Geostru Software



6.4 Duttilità con staffe confinanti

Il programma prevede il calcolo delle caratteristiche di duttilitò 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 possegga, 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 rinforzata 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 nè ai fini del confinamento nè ai fini della resistenza a taglio (considerate come esercitate solo dalle staffe nuove).

© 2020 Geostru Software

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 ≤ 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 ≤ 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:

$f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_c \cdot FC)$ in cui f_{cm} è il valore medio dedotto dalle prove, $\gamma_c = 1.5$ 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 58.
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

© 2020 Geostru Software

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), dallle armature longitudinali e dal corrente compresso di calcestruzzo.
L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2.5 \qquad (4.1.25)\ \text{NTC}$$

Questa relazione esprime la possibilita che l'angolo θ 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:

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

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

© 2020 Geostru Software

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

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

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:

$$a_l = 0,9 \cdot d \cdot \text{ctg}\,\alpha / 2$$

Questa relazione non e altro che la (4.1.30)NTC scritta per α=90° (α 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 θm in quello step e la rotazione alla corda di prima plasticizzazione θy.
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:

$$V_R = 1/\gamma_{el} \left[(h-x)/(2 L_V) \min(N;0.55 A_c f_c) + (1-0.05 \min(5;m_{\Delta pl})) [0.16 \max(0.5; 100 r_{tot})(1-0.16 \min(5; L_V/h)) \sqrt{f_c} A_c + V_W]\right]$$

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

© 2020 Geostru Software

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 sceda 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:

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

(4.1.28) NTC

$$V_{Rsd} = 0{,}9 \cdot d \cdot A_{sw}/s \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta \qquad (4.1.27)$$

NTC
sotto la condizione:

$$1 \leq ctg\,\theta \leq 2.5 \qquad (4.1.25)$$

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 $\theta = 1$ 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:

$$\theta = 0.5 \cdot \arcsin\left[(2\,V_{Ed})/(a_c \cdot f'_{cd} \cdot 0{,}9 \cdot d \cdot b_w)\right]$$

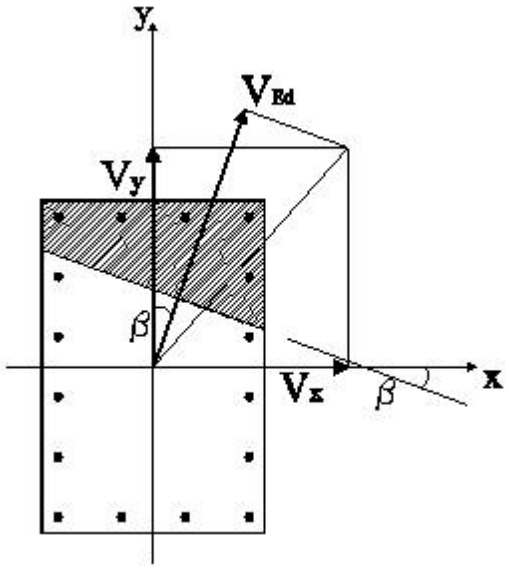
se ctgθ soddisfa la (4.1.25) l'area A_{sw} delle staffe strettamente necessaria si ottiene dalla (4.1.27). Il confronto tra l'area effettiva delle staffe e quella strettamente necessaria determina l'esito della verifica lato acciaio.

© 2020 Geostru Software

Se ctg θ > 2.5 si pone ctg θ = 2.5.
Nella finestra delle opzioni armature 67 e' possibile assegnare un valore massimo per ctg θ inferiore a 2.5.

7.2 Verifica per taglio biassiale

Come descritto nella verifica delle sezioni predefinite 137 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.

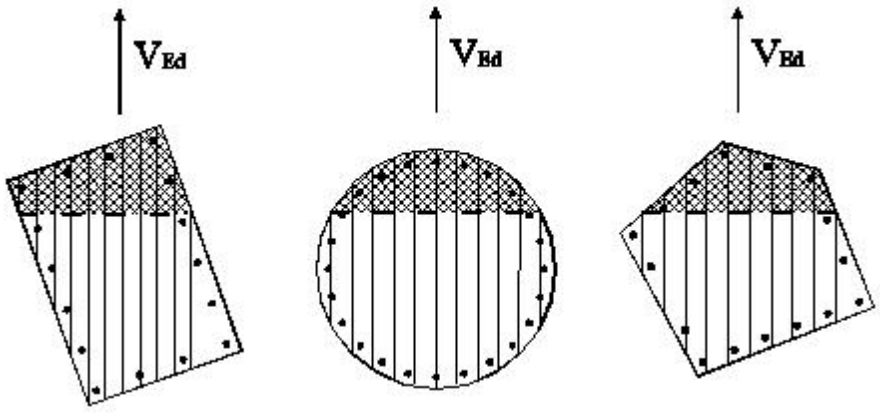


© 2020 Geostru Software

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:

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

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 concio viene cioè considerato allo stesso modo di

© 2020 Geostru Software

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 concio i ed assumendo le staffe sempre ortogonali all’asse della trave (α = 90°):

$$V_{Rsd\,i} = 0{,}9 \cdot d_i \cdot A_{sw\,i}/s \cdot f_{yd}\,\mathrm{ctg}\theta \qquad (1)$$

$$V_{Rcd\,i} = 0{,}9 \cdot d_i \cdot b_i \cdot a_c \cdot f'_{cd}\,\sin\theta \cdot \cos\theta \qquad (2)$$

in cui:

d_i altezza utile del concio 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 concio i;

s passo delle staffe;

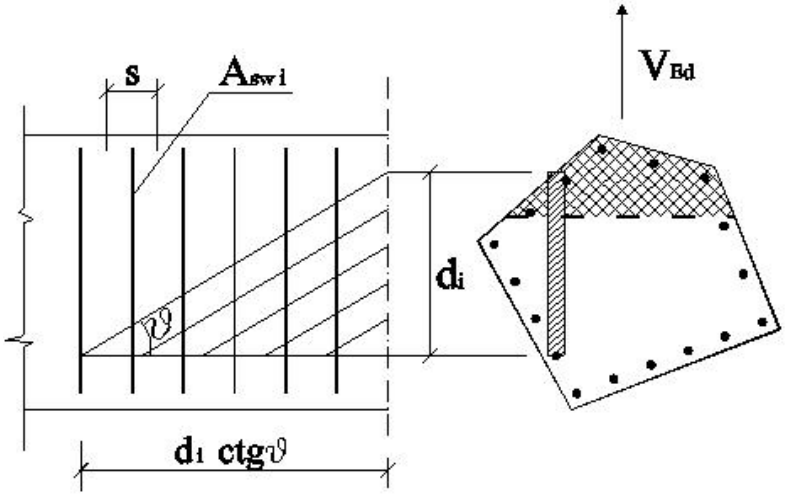
f_{yd} tensione di snervamento di calcolo delle staffe;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo (0,5 · fcd);

a_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).



© 2020 Geostru Software

Sulla base delle ipotesi assunte si è rappresentato in figura lo schema longitudinale del traliccio elementare resistente corrispondente al generico concio di altezza utile di.
Per poter valutare compiutamente la resistenza a “taglio trazione” espressa dalla (1) resta da definire Asw 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:

$$A_{sw\,i} = d_i / Sd_i \cdot A_{sw}$$

Di conseguenza le resistenze a “taglio trazione” e “taglio compressione”, questa volta riferite all’intera sezione, diventano:

$$V_{Rsd} = 0{,}9 \cdot (Sd_i^2 / Sd_i)\, A_{sw}/s \cdot f_{yd} \cdot \mathrm{ctg}\theta \qquad (3)$$

$$V_{Rcd} = 0{,}9 \cdot (S\, d_i \cdot b_i) \cdot a_c \cdot f'_{cd}\, \sin\theta \cdot \cos\theta \qquad (4)$$

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:

$$d = Sd_i^2 / Sd_i = d_{eq}$$
$$d \cdot b_w = S\,(d_i \cdot b_i) = A_{eq}$$
$$b_{w\,eq} = A_{eq} / d_{eq}$$

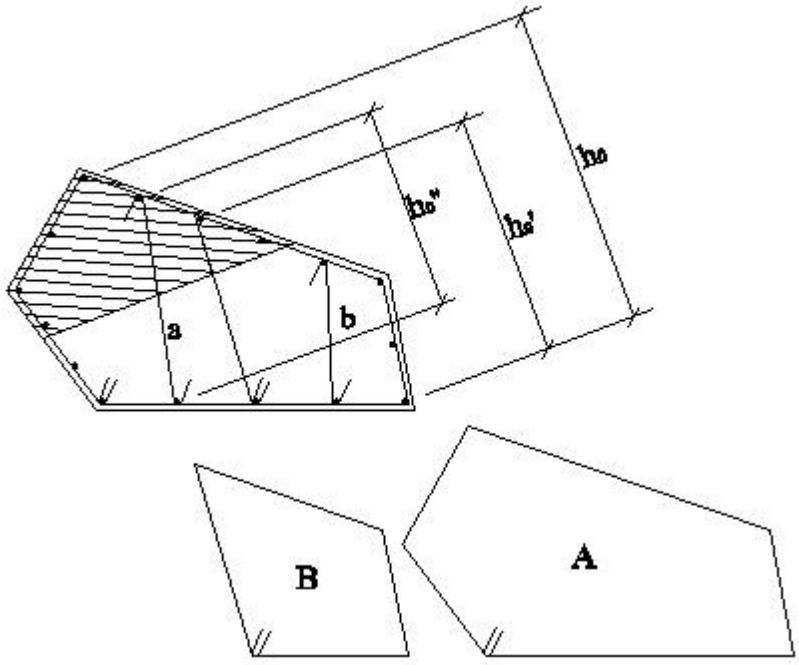
I valori b_w eq d_{eq} così ottenuti definiscono, per qualsiasi forma di sezione calcolata, base ed altezza di una sezione rettangolare equivalente ai fini della resistenza ultima a taglio. Tali dimensioni equivalenti consentono, cioè, di utilizzare lo stesso procedimento di verifica a taglio 137 illustrata 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

© 2020 Geostru Software

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 inviluppa 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

© 2020 Geostru Software

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:

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

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

$0{,}08 \div 0{,}12$ = 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 bst, hst 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}.

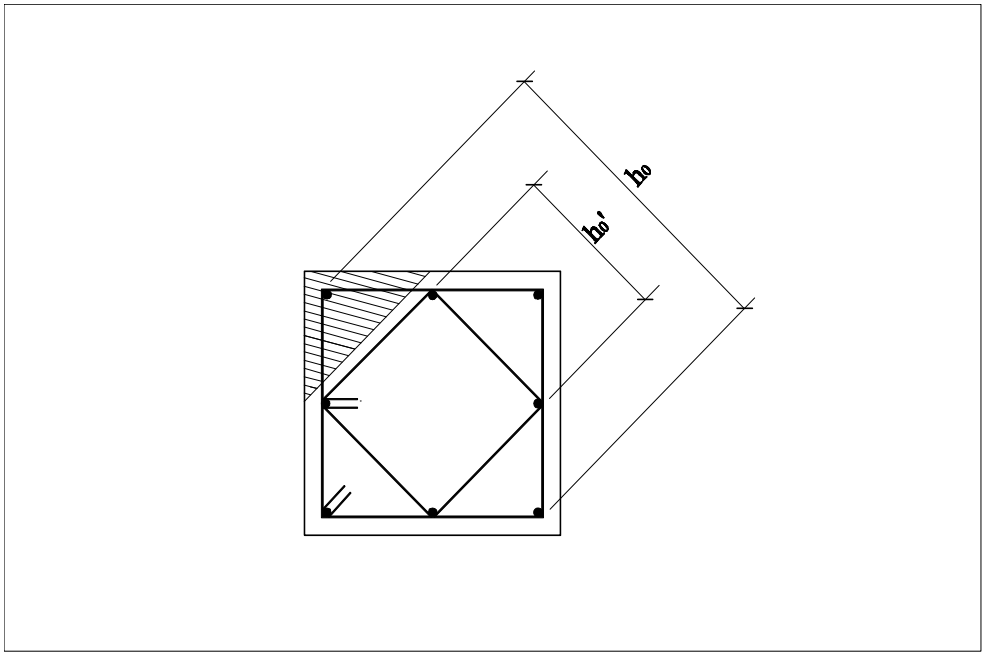
Nell'ottica della presente trattazione del taglio obliquo, la verifica del rapporto meccanico di armatura trasversale va invece effettuata per ogni combinazione di carico e nella sola direzione del taglio ad essa associata assumendo come area A_{st} quella efficace calcolata secondo le indicazioni sopra riportate e sostituendo all'area confinata bst·hst della sezione rettangolare quella (sempre confinata) della sezione equivalente $b_{weq} \cdot d_{eq}$ individuata nel precedente paragrafo.

© 2020 Geostru Software

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 $4\ A_{br}$.

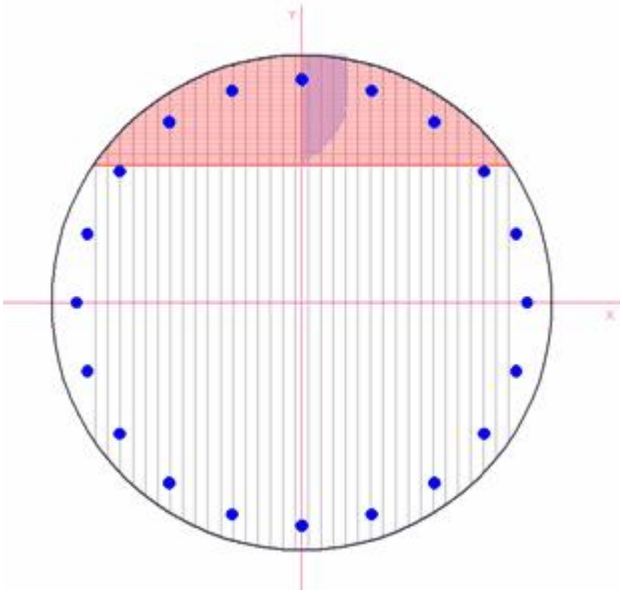


Esempio di calcolo

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):

$d = r + 2\ r / p$ in cui r è il raggio della sezione circolare.

© 2020 Geostru Software



La sezione circolare assunta come esempio in figura ha un raggio di 40 cm ed un'armatura costituita da 20F18 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 (b_w=64,7) per n = 0,0

d = 65,0 (b_w=71,0) per n = 0,1

d = 64,0 (b_w=73,4) per n = 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:

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

in cui:

© 2020 Geostru Software

$f'_{cd} = 0{,}5\, f_{cd}$

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[137] 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[138].

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[138] e per sezioni generiche.

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

$= 1$	per membrature non compresse
$= 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \le \sigma_{cp} < 0{,}25\, f_{cd}$
$= 1{,}25$	per $0{,}25\, f_{cd} \le \sigma_{cp} \le 0{,}5\, f_{cd}$
$= 2{,}5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0{,}5\, f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

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"):

© 2020 Geostru Software

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

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:

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

con b_w espresso in mm.

L'interasse minimo di tali staffe deve essere non minore di 0,8·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.

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.

© 2020 Geostru Software

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

- Rinforzo a taglio con FRP[148]

- Rinforzo a taglio con incamiciatura in c.a[150].

- Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande/nastri in acciaio[151]

8.1 Rinforzo a taglio con FRP

La disposizione delle fibre e sempre prevista ortogonale (β = 90°) rispetto all'asse dell'asta.
Operando con le CNR 2013 l'angolo θ puo variare come previsto nelle NTC: $1 \leq ctg\ \theta \leq 2.5$.. Il valore 2.5 massimo di default di ctg θ puo essere ridotto a discrezione dell'utente nella finestra delle opzioni armature e di calcolo[67].
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:

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

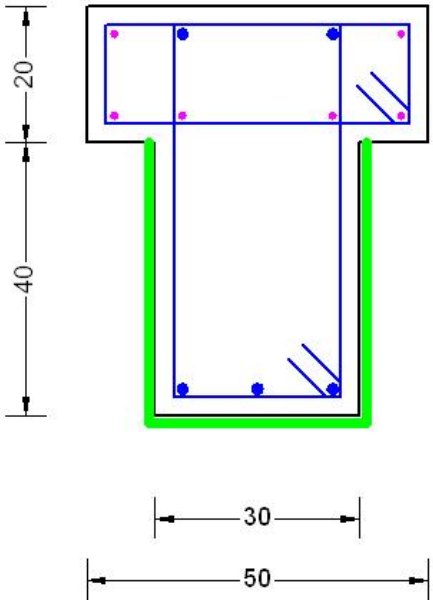
In cui V_{sd} è fornito dalla dalla (4.1.27)NTC.
Il contributo $V_{Rfd,f}$ del rinforzo FRP va valutato secondo la (4.19) CNR2013 in cui si e implicitamente posto cot β = 0:

$$V_{Rd,f} = 1/\gamma_{Rd} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot \cot\theta \cdot w_f/p_f$$

dove w_f e p_f sono rispettivamente la larghezza ed il passo delle strisce, γ_{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:

© 2020 Geostru Software



$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot [\ 1\text{-}1/3 \cdot l_e/\min\{0.9 \cdot d; h_w\}]$$

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.8 262].

© 2020 Geostru Software

- nel caso di disposizione in avvolgimento:(utilizzata sempre nel caso di pilastri ma puttosto 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]

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot [1 - 1/6 \cdot l_e / \min\{0.9 \cdot d; h_w\}] + 1/2 \cdot (F_R \cdot f_{fd} \cdot f_{fdd}) \cdot [1 - l_e / \min\{0.9 \cdot d; h_w\}]$$

in cui:

$f_{fd} = Ef \cdot \varepsilon_{fd} = E_f \cdot \eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f$ =resistenza di progetto a rottura del rinforzo FRP

$F_R = 0.2 + 1.6\ r_c/b_w$ essendo r_c il raggio di curvatura (mai minore di 20 mm) dell'arrotondamento degli spigoli della sezione interessati dal rinforzo

$b_w = w_f$ = larghezza striscia FRP applicata

$0 \le r_c/b_w \le 0.5$

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, e sempre prevista ortogonale (ctg α = 0) rispetto all'asse dell'asta.
L'angolo di inclinazione dei puntoni di taglio può variare come da normativa: $1 \le \text{ctg}\ \theta \le 2.5$. Il valore 2.5 massimo di default di ctg θ puo essere ridotto dall'utente nella finestra delle opzioni armature e di calcolo 67.
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 atraverso i nodi che nel caso opposto.

© 2020 Geostru Software

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 zezione. 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.

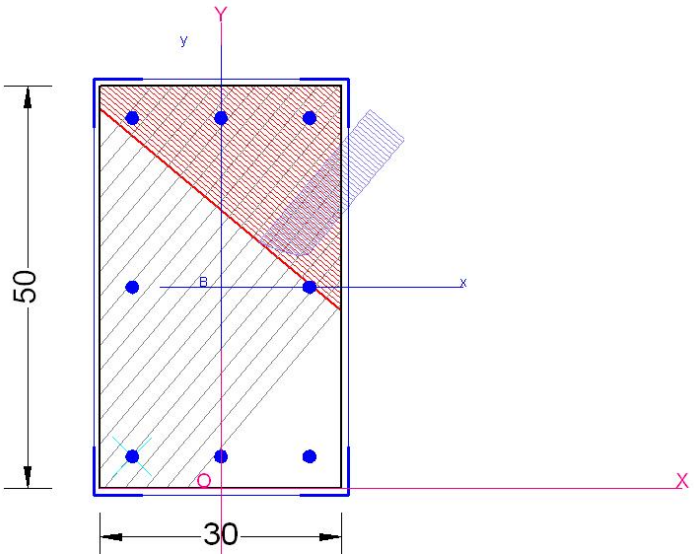
V_{Rcd} dalla (4.1.28)NTC riferita alla nuova sezione (riguardo a b_w e d) ma con f'_{cd} del calcestruzzo della vecchia sezione.

Il calcolo della resistenza a taglio della sezione incamiciata viene svolto anche nel caso di sollecitazione biassiale.

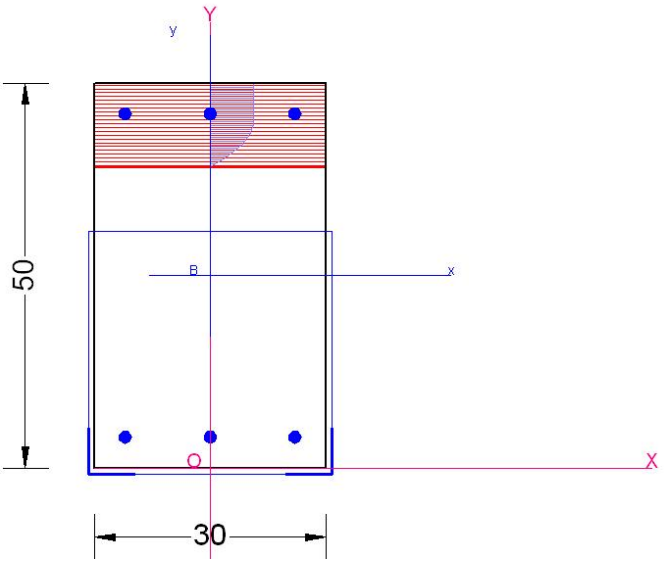
8.3 Rinforzo a taglio con cerchiatura con bande

In genere questo tipo di rinforzo si effettua su pilastri rettangolari mediante 4 angolari pressopiegati e bande o nastri ad alta resistenza.

© 2020 Geostru Software



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.



© 2020 Geostru Software

La resistenza totale a taglio della sezione è data dalla seguente relazione:

$$VRd = \min \{VRsd + Vj;\ VRcd\}$$

in cui:

VRsd 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 fyd.

VRcd dalla (4.1.28)NTC riferita alla sezione iniziale.

Vj 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:

$$Vj = 0{,}5 \cdot 2 \cdot tj\ b\ /s \cdot 0.9 \cdot d \cdot fyw \cdot ctg\ \theta \qquad (CA8.7.5)$$

in cui

tj, b, s sono rispettivamente spessore, larghezza e interasse delle bande (b=s nel caso di camicie continue), fyw 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 e l'inclinazione assunta per l'intera sezione dei puntoni di calcestruzzo resistenti nel traliccio di Morsh ($1 \leq ctg\ \theta \leq 2.5$).

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

© 2020 Geostru Software

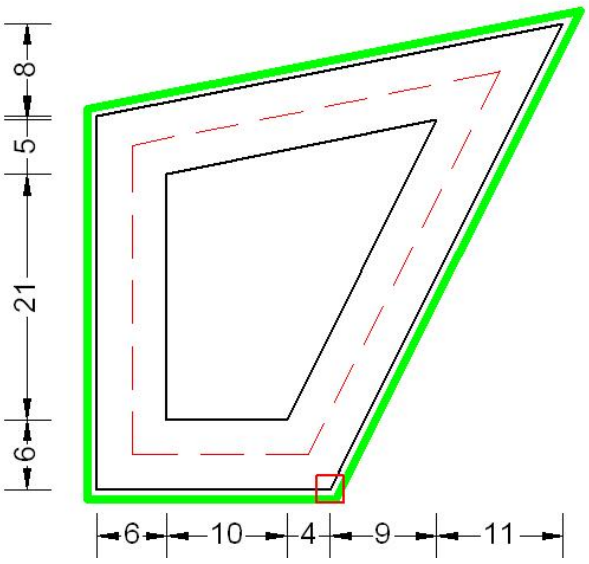
pertanto trattato il caso di torsione primaria in quanto necessaria all'equilibri della sezione allo SLU.
In programma per il calcolo a torsione sono previste sezioni rettangolari, circolati e poligonali piene o cave. Sono esplicitamente escluse dalla presente trattazione le sezioni costituite da profili sottili aperti e le sezioni pluriconnesse.
La verifica di resistenza SLU a torsione consiste nel controllare che

$$T_{Rd} \geq T_{Ed} \qquad (4.1.34)\ \text{NTC}$$

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 .

© 2020 Geostru Software

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: $T_{Rcd} = 2\,A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \mathrm{ctg}\,\theta / (1+ \mathrm{ctg}^2\theta)$

b) Staffe: $T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot A_s/s \cdot f_{yd} \cdot \mathrm{ctg}\,\theta$

c) Armat. longit.: $T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \Sigma A_l / u_m \cdot f_{yd} / \mathrm{ctg}\,\theta$

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

$\mathrm{ctg}\,\theta$ = cotangente dell'inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave. Deve essere: $1 \le \mathrm{ctg}\,\theta \le 2{,}5$ (§3.4.3.1 LG2009);

nel caso di torsione e taglio nella stessa sezione il valore di ctg θ deve essere unico e pari ad 1. Il programma prevede l'input diretto di ctg θ.

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:

$$T_{Rd,f} = 1/\gamma_{Rd} \cdot 2 \cdot f_{fed} \cdot b \cdot h \cdot w_f/p_f \cdot \mathrm{ctg}\theta$$

(4.27) CNR2013

con:

γ_{Rd} = 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 148.

w_f = larghezza delle strisce di FRP con cui si avvolge la sezione

© 2020 Geostru Software

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 $\theta=45°$ (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.

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 158
- Verifiche di fessurazione 162

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:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}\ Q_{k2} + \psi_{03}\ Q_{k3} + \ldots$$

© 2020 Geostru Software

Combinazioni frequenti:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \ldots$$

Combinazioni quasi permanenti:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \ldots$$

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

© 2020 Geostru Software

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 156 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, nonchè 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

© 2020 Geostru Software

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:

$$E_{c,eff} = E_c / (1+\mathbf{f})$$

in cui E_c è il modulo medio di elasticità normale e f è il coefficiente di viscosità assegnato anch'esso nell'archivio materiali 58 per ognuno dei calcestruzzi inseriti. Volendo assegnare ad esempio un coefficiente di viscosità f equivalente ad un coeff. di omogeneizzazione n basterà porre:

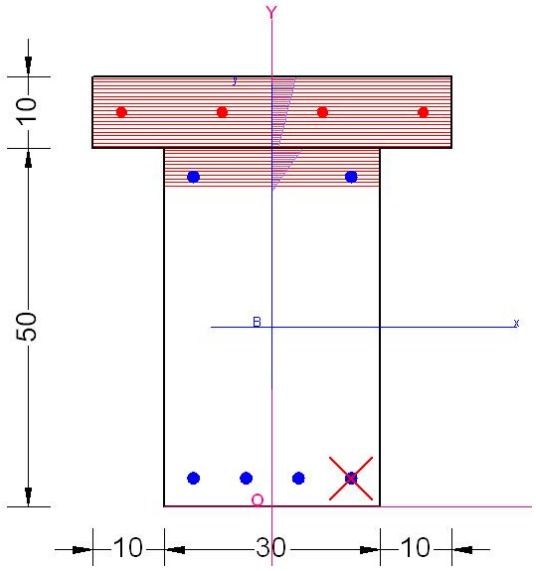
$$E_{c,eff} = E_c/(1+f) = E_s/n$$

da cui:

$$f = E_c/E_s \cdot n - 1$$

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 f=0 (nell'archivio materiali), mentre al calcestruzzo nuovo della soletta va assegnato (sempre nell'archivio materiali) il valore di f 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 f 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. f).

© 2020 Geostru Software



La sezione in figura è stata calcolata assegnando alla soletta di calcestruzzo Classe 20/25 un coefficiente di viscosità f = 1.36 (equivalente ad n=15 per E_c= 314750 daN/cm² e E_S=2000000), mentre per il calcestruzzo della sezione rettangolare esistente si è posto f=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 sopratutto 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

© 2020 Geostru Software

distacco del rinfonzo 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" $t_{b,c}$ sia inferiore alla resistenza di adesione tra rinforzo e calcestruzzo, f_{bc}:

$$t_{b,e} \le f_{bd} \qquad \text{(4.8) CNR2013}$$

con:
$t_{b,e} = k_{id} \cdot t_m$

$k_{id} = (k_s^{1.5} + 1.15 k_t^{1.5})^{2/3}$

$k_s = k_t \cdot \beta \cdot t_f$
$k_t = 1 + \alpha \cdot M/V$

$f_{bd} = k_b \cdot f_{ctk}/\gamma_b$

$f_{bd} = 0.21 \cdot (k_b \cdot f_{ctm})/(\gamma_b \cdot FC)$ (4.9) CNR2013

© 2020 Geostru Software

con k_b espresso dalla (4.3) CNR2013 e γ_b =1.0 per la comb. rara e 1.2 per quella frequente.
k_s va posto =0 qualora sia previsto un ancoraggio terminale mediante fasciatura ad U.
Per le formule che forniscono i valori di α e β 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 16) 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 162.
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 precompresse.
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;

© 2020 Geostru Software

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	$\leq w_1$
	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:

$$w_d = 1{,}7\, w_m$$

(4.1.14)NTC
in cui:

w_m = $\varepsilon_{sm} D_{rm}$ = valore medio apertura

ε_{sm} = deformazione media delle barre

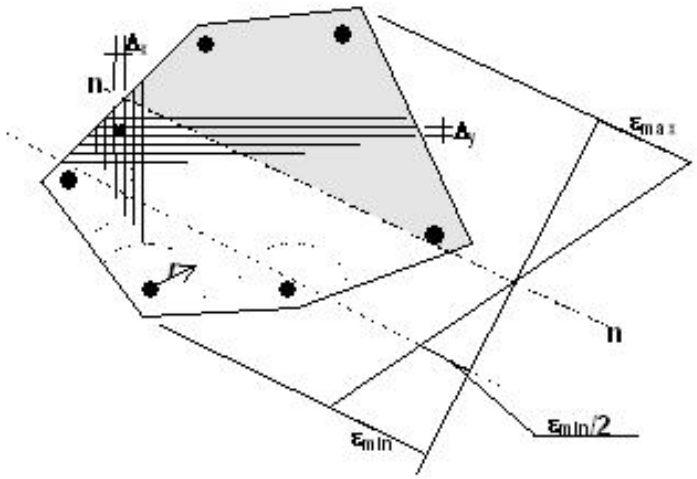
D_{rm} = distanza media tra le fessure

Queste relazioni sono identiche a quelle già note del DM'96 [3] il cui procedimento di valutazione è dettagliatamente illustrato nella relativa Circolare [4]del 1997.
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).

© 2020 Geostru Software

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 $A_{c\ eff}$, 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 F in cui *c* è il copriferro netto delle barre tese di diametro medio F; 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 [4 262], 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 $A_{c\ eff}$ 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

© 2020 Geostru Software

rassegna tutte le areole, vengono sommate (a costituire l'area efficace $A_{c\ eff}$) 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 $\varepsilon > \varepsilon_{min}/2$). Solo l'area delle barre tese con $\varepsilon < \varepsilon_{min}/2$, 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[262]]):

$$s_{rm} = 2\,(c + s/10) + K_2\,K_3\,\Phi / \rho_r$$

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[67])

K_3 = 0,125 (con flessione semplice o pressoflessione)

= 0,250 (con trazione pura)

= 0,25 [(s1+s2)/2s1] 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

s_1,s_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 s_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[16] della sezione.

ρ_r = A_s / $A_{c\ eff}$ = 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:

© 2020 Geostru Software

$$\varepsilon_{sm} = \zeta \cdot \sigma_s / E_s$$

dove :

σ_s = E_s ε_{s2} = trazione nella barra più tesa nello stato 2 (fessurato)

$$\zeta = 1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{f_{cfm}}{\sigma_{t\,max}} \right)^2 \geq 0{,}4 \qquad (1)$$

in cui:

f_{cfm} = resistenza media a trazione per flessione del cls. Nel programma viene assunta uguale a fctm (prudenzialmente)

$\sigma_{t\,max}$ = massima tensione di trazione calcolata nel cls. nell'ipotesi di sezione non parzializzata

b_1 = coeff. che tiene conto dell'aderenza acciaio-calcestruzzo e vale:

1,0 per barre ad aderenza migliorata
0,5 per barre lisce

b_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[58] 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 è prescritto questo calcolo (§4.1.2.2.4.1 NTC).

Un discorso a sé 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 entità maggiore di quello M_{sr} che produce la prima fessurazione della sezione, si può 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]):

$$\varepsilon_{sm} = (1 - \zeta)\, \varepsilon_{s1} + \zeta \varepsilon_{s2} \qquad (2)$$

in cui ε_{s1} è la deformazione unitaria in sezione interamente reagente (stato 1), ε_{s2} è quella a sezione interamente fessurata (stato 2), ζ è il coefficiente di interpolazione che esprime la frazione di

© 2020 Geostru Software

deformazione attribuibile alle sole sezioni fessurate nel tratto di lunghezza unitaria considerato.
Il valore di ζ è dedotto dall'evidenza sperimentale viene valutato dal programma mediante la (1) che sembra differente dal valore indicato nelle Istruzioni 2009[2[262]] :

$$\zeta = 1 - c\,(M_f/M)^2 \qquad \text{(C4.1.12)}$$

in cui c corrisponde in pratica al prodotto $\beta_1\beta_2$. Il rapporto tra il momento Mf 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 determinazine dell'area tesa (in zona efficace) A_s che compare nella precedente trattazione.

© 2020 Geostru Software

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'adereza 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).

11 Esempi di calcolo

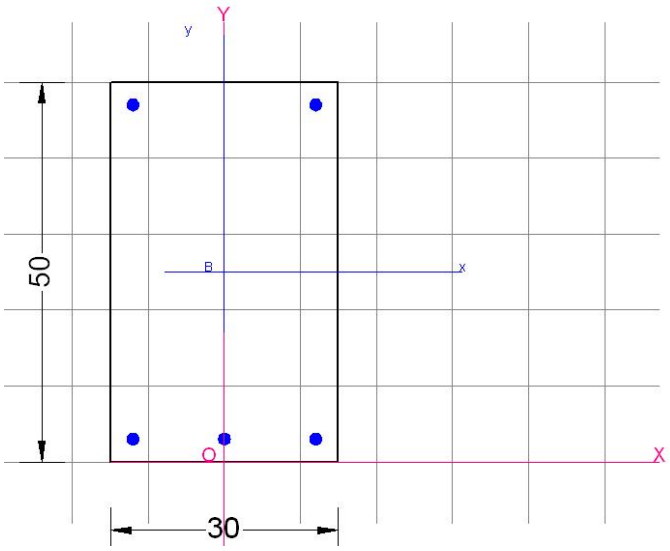
Gli esempi che seguono sono tutti presenti nella cartella "\ESEMPI" della directory di installazione del programma. Essi verranno illustrati sia in relazione alla modalità di immissione dei dati, sia confrontando i risultati ottenuti sulla base degli algoritmi assunti nel calcolo con quelli riportati 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 [8 262]. 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.

© 2020 Geostru Software

11.1 Esempio 1



La sezione rettangolare della trave in figura è tratta da [8 §5.7] ed è stata calcolata con le Linee Guida 2009 [6]. 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} = 1000 daN

M_{Ed} = 11200 daNm

L'armatura è costituita da 5 barre F 16 con copriferro (dal baricentro delle armature) pari a 3 cm.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente (fattore di confidenza FC=1,2):

$f_{cd} = f_{cm}/(\gamma_c \cdot FC)$ = 102 daN/cm²

f_{ck} = 180 daN/cm²

E_c = 293000 daN/cm² [dalla formula (11.2.5)NTC]

f_{ctm} = 20.6

f_{ctd} = 9.6

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:

f_{yk} =3750 daN/cm²

© 2020 Geostru Software

f_{yd} = 3260

E_s = 2000000

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:

Sistema preformato. Fattore di conversione EtaA(§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 = 1890000 daN/cm² = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore.

f_{fk} = 28800 daN/cm² = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore.

$b_{f,1}$ = 16 cm = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore

$t_{f,1}$ = 0.130 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 16:

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 = 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 58 (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che dall'apposito plusante 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: fck180 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo esistente utilizzato nel calcolo corrente - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")

fck,cubi: 180/0.83 = 216 daN/cm² viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

© 2020 Geostru Software

E_{cm} = Modulo elastico cls: 293000 daN/cm² (dato ricavato a mano sulla base di f_{ck})
fcm = 260 daN/cm² (dato assegnato sulla base delle prove effettuate)
FC =1.2 (fattore di confidenza assegnato in base alla completezza delle indagini)
f_{ck} = 180 daN/cm² (dato assegnato calcolato in base al numero di prove effettuato)
f_{cd} = 102 daN/cm² (dato automaticamente dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente)
f_{ctd} = 9.6 (dato automaticamente dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente)
f_{ctm} = 20.6 (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

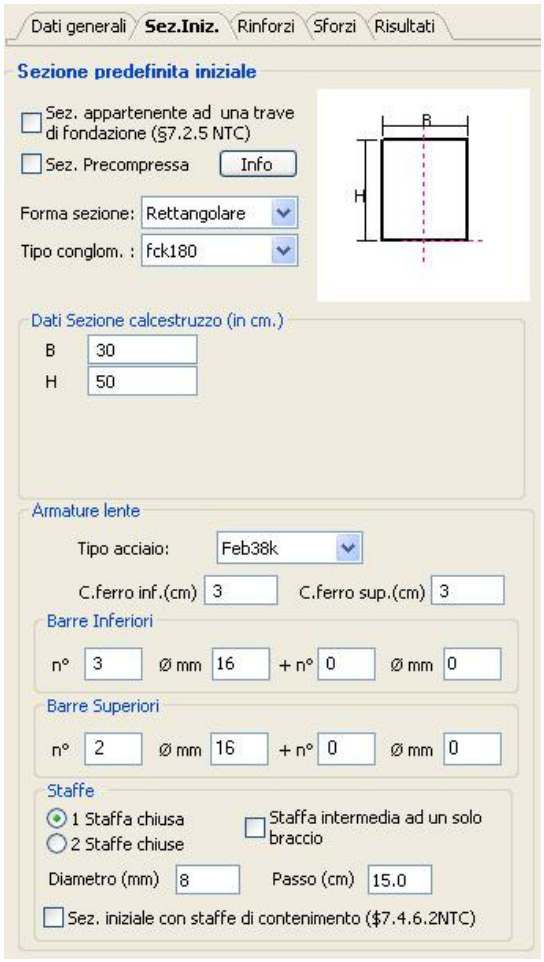
griglia acciai: trattandosi acciaio preesistente i relativi dati di calcolo vanno inseriti manualmente nella prima riga della griglia:
Nome acciaio: Feb38k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciao esistente)
E_s = 2000000 = modulo elastico dell'acciaio
f_{yk} = 3750 daN/cm² (dato assegnato ed utilizzato dal programma anche nel calcolo di duttilità)
f_{tk} = 3750 (valore caratteristico a rottura: si ipotizza una legge tensioni-deformazioni bilineare non incrudente; questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità)
f_{td} = 3260 (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} = 3260 daN/cm² (dato dedotto automaticamente dal programma sulla base dei dati assegnati direttamente: fyd = fym/FC ed utilizzato per il calcolo di resistenza)
e_{ptk} = ε_{uk} = 0.04 = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)
e_{pd_ult} = ε_{ud} = 0.036 = deformazione a rottura di calcolo (posta pari a 0.9 ε_{ud} come da §4.2.1.2.2.3 NTC)

© 2020 Geostru Software

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 = 1890000 daN/cm² (assegnato)
Eta a = η_a = 0.95 (assegnato)
Eta l = η_l 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 19 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):

© 2020 Geostru Software



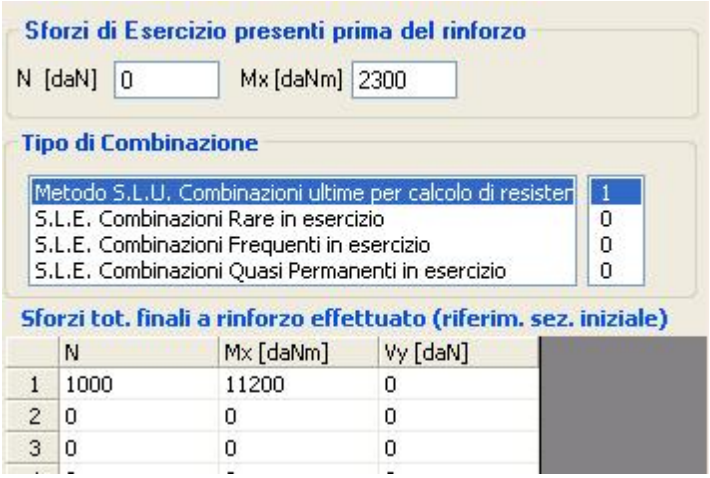
Input rinforzi

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)

© 2020 Geostru Software

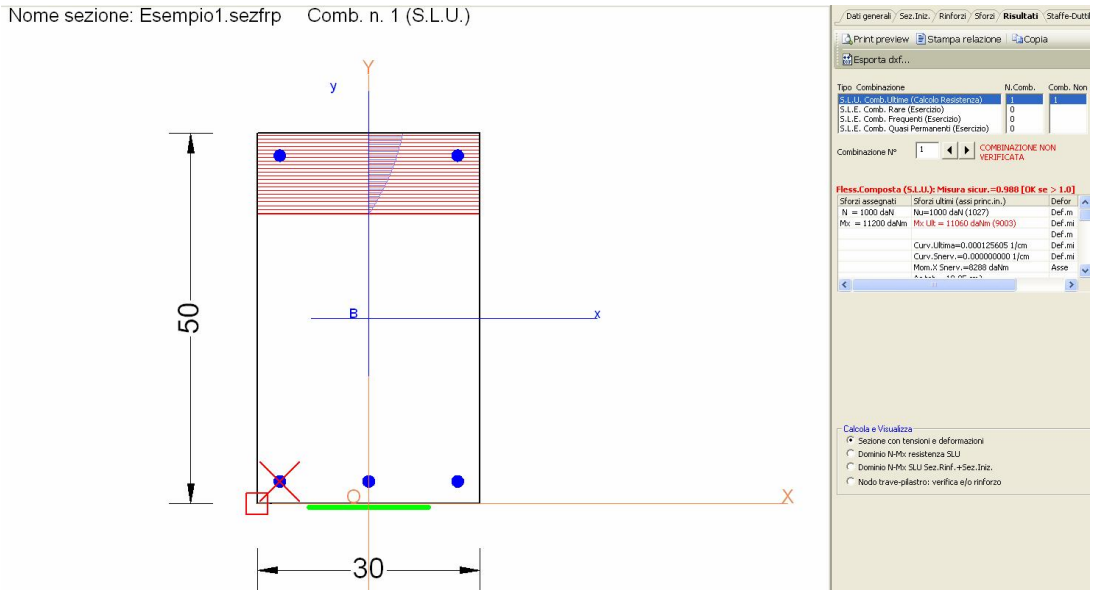
ed il numero di strati (3 in questo caso). Naturalmente si inizia ad assegnare un solo strato e se non verifica si incrementano gli strati fino a verifica (non è opportuno superare mai i 5 strati anche perchè le resistenze alla delaminazione diminuiscono all'aumentare del numero di strati). Qui è stato necessario, prima di ottenere la verifica positiva, arrivare a 3 strati.

Input Sforzi



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



© 2020 Geostru Software

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 11225 daNm mentre il risultato ottenuto con il programma che utilizza le CNR 2013 è inferiore e pari a 11060 daNm 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:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio1.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 1 Lenci §5.7.5
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:	260.00	daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	180.00	daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd=fcm/(FC*1.5):	102.00	daN/cm²
Deform. unitaria alla massima resistenza:	0.0020	
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Legge tensioni-deformazioni:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico secante Ecm:	293000	daN/cm²
Resist. media a trazione fctm:	20.60	daN/cm²

ACCIAIO - Tipo per barre sezione esistente: Feb38k

Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
Resistenza caratteristica a snervamento = fym :	3750.0	daN/cm²
Resistenza media a snervamento:	3750.0	daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15):	3260.0	daN/cm²
Rapporti ftk/fyk = ftm/fyk:	1.00	
Resist. caratteristica a rottura di progetto ftd:	3260.0	daN/cm²
Deform. a rottura di progetto Epu:	0.036	daN/cm²
Modulo Elastico Es:	2000000	daN/cm²
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 etaA(§3.5.1 CNR2013)	0.950	
Modulo elastico Ef rinforzo (§2.2.1 CNR2013):	1890000	daN/cm²
Resistenza caratteristica a rottura ffk del rinforzo:	28800	daN/cm²

© 2020 Geostru Software

Deformazione caratteristica a rottura rinforzo e_fk= ffk/Ef 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 ffdd 8009 daN/cm²
Deformazine intradosso a rottura di progetto ep_fd [(4.14)CNR2013] 0.0042
Lunghezza ottimale di ancoraggio intradosso Le [(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] 0.130 mm

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Base: 30.0 cm
Altezza: 50.0 cm
Barre inferiori: 3Ø16 (6.0 cm²)
Barre superiori: 2Ø16 (4.0 cm²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre): 3.0 cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre): 3.0 cm
Diametro Staffe: 8 mm
Passo Staffe: 5 cm
N. Bracci Staffa: 2

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro (posit. se di compress.): 0
Momento flettente [daNm] preesistente (posit. se comprime le fibre sup.): 3200

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N Sforzo normale finale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata finale [daN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	1000	11200	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [daNm] (positivo se tende le fibre inferiori)
N ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compressione)
M ult Momento flettente ultimo[daNm] (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 [daNm]

© 2020 Geostru Software

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn
1 N	1000	11200	1000	11060	(9003)	0.988	39.1	8288 1)

1) Combinazione non verificata a flessione composta (Momento di progetto > Multimo)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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.)

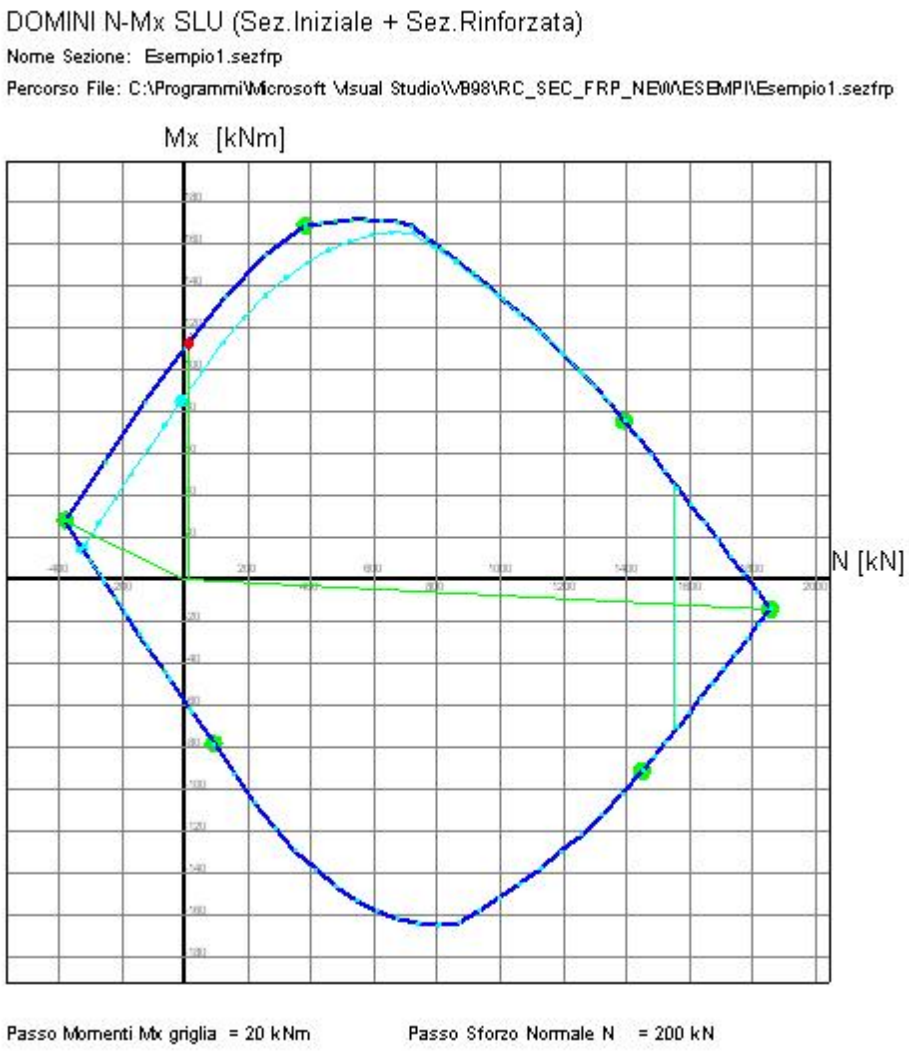
N°Comb	ec max	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min	eFRPmin	yFRPmin
1	0.00137	50.0	0.00099	47.0	-0.00453	3.0	-0.00424	0.0

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).

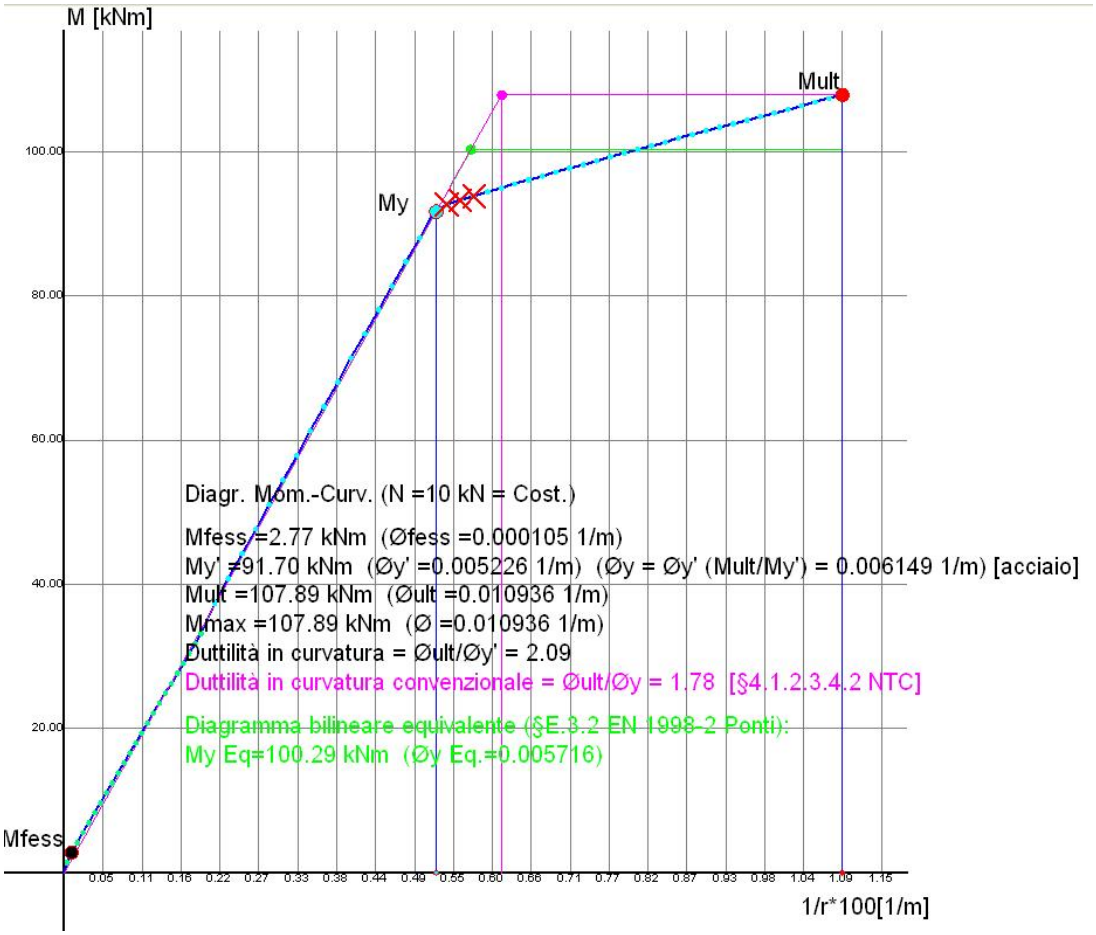
© 2020 Geostru Software



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.

© 2020 Geostru Software



La duttilità in curvatura della sezione rinforzata misura appena $m_F = F_u/F_y = 1.78$ a fronte di una duttilità pari a 15.45 della sezione non rinforzata.

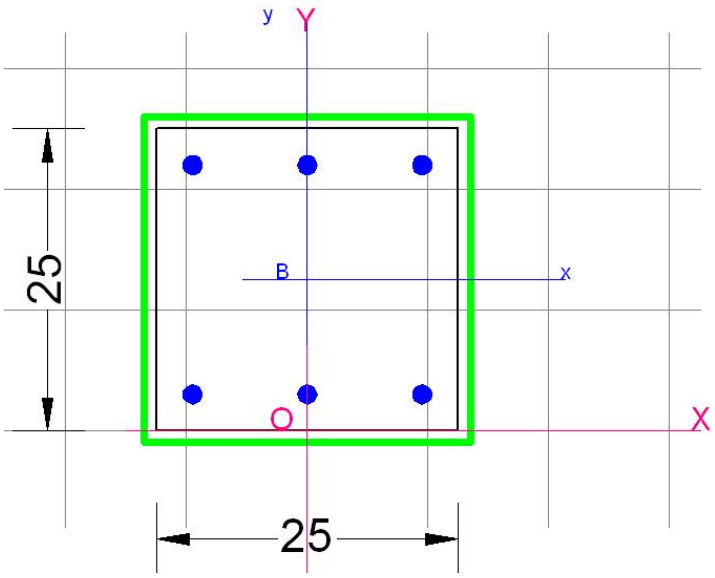
In conclusione il rinforzo a flessione con FRP di travi e pilastri appare dubbio per la notevole perdita di duttilità che comporta, specie se l'intervento ha carattere di miglioramento sismico.

Un parziale miglioramento della duttilità per i pilastri rinforzati a flessione potrebbe essere conseguito dal confinamento mediante fasciatura trasversale con FRP.

.

© 2020 Geostru Software

11.2 Esempio 2



Questo esempio tratto da [8 262 §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} = 105000 daN; M_{Ed} = 0 daNm.
In assenza di confinamento l'applicazione della C4.1.13 NTC per pilasti con trascurabile eccentricità porterebbe ad una resistenza
$N_{Rc} = 0{,}8\ A_c\ f_{cd} + A_s\ f_{yd} = 0{,}8 \cdot 625 \cdot 85 + 12 \cdot 2739 = 75370$ daN
rispetto a quella richiesta di 105000 daN. In caso di confinamento con FRP le CNR2013 prevedono (per pilastri prevalentemente compressi) il seguente valore per lo sforzo normale massimo (con γ_{Rd}=1.10 = coeff. parziale per il calcestruzzo confinato):

$$N_{Rcc,d} = 1/\gamma_{Rd} \cdot A_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd} \qquad (4.30)\ \text{CNR2013}$$

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 F 16 disposte come in figura con copriferro (dal baricentro delle barre) pari a 3 cm.
Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente:

© 2020 Geostru Software

f_{cd} = 85 daN/cm² (ricavato da f_{cm} = 172 daN/cm² ottenuto dalla media delle prove diviso per il fattore di confidenza FC = 1,35 e per il fattore parziale γ_c = 1.5 del calcestruzzo)

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:
f_{ym} = 3150 daN/cm²
FC = 1.0
f_{yd} = 2739 "
E_s = 2000000 "

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:
Tipo di tessuto: Preformato
Tipo di delaminazione: non interessa in presenza di solo confinamento
η_a = 0.95 = Fattore di conversione ambientale
E_f = 1890000 daN/cm² = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore
f_{fk} = 28800 daN/cm² = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore
$b_{f,l}$ = 25 cm = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore
pf = 37.5 cm = interasse tra due fasciature consecutive
$t_{f,l}$ = 0.130 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 16:
Tipo di sezione: Sezione rettangolare di Pilastro
Posizione sezione: sezione intermedia (dato non cogente in questa specifica applicazione)
Percorso di sollecitazione: M/N = ecc. = 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 58 (si accede a questa finestra sia dal menu Dati che

© 2020 Geostru Software

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: fck150 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo utilizzato in questo calcolo - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")
fck,cubi: 150/0.83 = 180 daN/cm² viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo
Modulo elastico cls: 282400 daN/cm² (non interviene nella presente applicazione)
f_{cm} = 172 daN/cm² (dato assegnato)
FC = 1.35
f_{cd} = 85 daN/cm² (dato dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati)
f_{ctd} = 8.5 (non interviene in questa applicazione)
f_{ctm} = 18.2 (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 acciao = acciaio esistente)
Nome acciaio: Feb32k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciao esistente)
E_s = 2000000 = modulo elastico dell'acciaio
f_{ym} = 3150 daN/cm² (dato assegnato in base alle prove e agli altri dati di conoscenza)
FC =1.0 (fattore di confidenza assegnato)
f_{yd} = 2739 daN/cm² (dato dedotto dal programma sulla base dei dati assegnati a f_{ym} e FC ed utilizzato per il calcolo di resistenza)
f_{tk} = 3150 (valore caratteristico a rottura: questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità non previsto in questa applicazione)
f_{td} = 2739 (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo. Valore non utilizzato in questa applicazioneo)

© 2020 Geostru Software

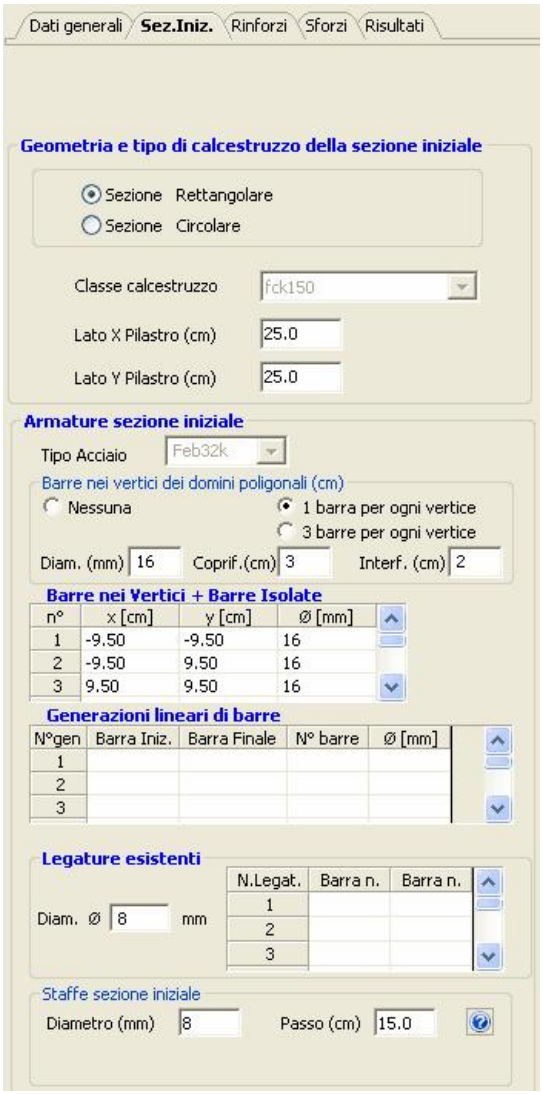
e_{ptk} = ε_{uk}= 0.04 = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)
e_{pd_ult} = ε_{ud}= 0.036 = deformazione a rottura di calcolo (posta pari a 0.9 ε_{ud} come da §4.2.1.2.2.3 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 = 1890000 daN/cm² (assegnato)
Eta a = η_a = 0.95 (assegnato)
Eta l = η_l Fattore di conversione ambientale per carichi SLE: non interessa questo calcolo e quindi può essere lasciat 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 16 come appartenente a pilastro rettangolare (o circolare), si passa alla scheda Dati sezione iniziale 19 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 devo essere necessariamente quelli corrispondenti alla prima - materiale esistente - righa nelle griglie di riferimento).

© 2020 Geostru Software



Input rinforzi

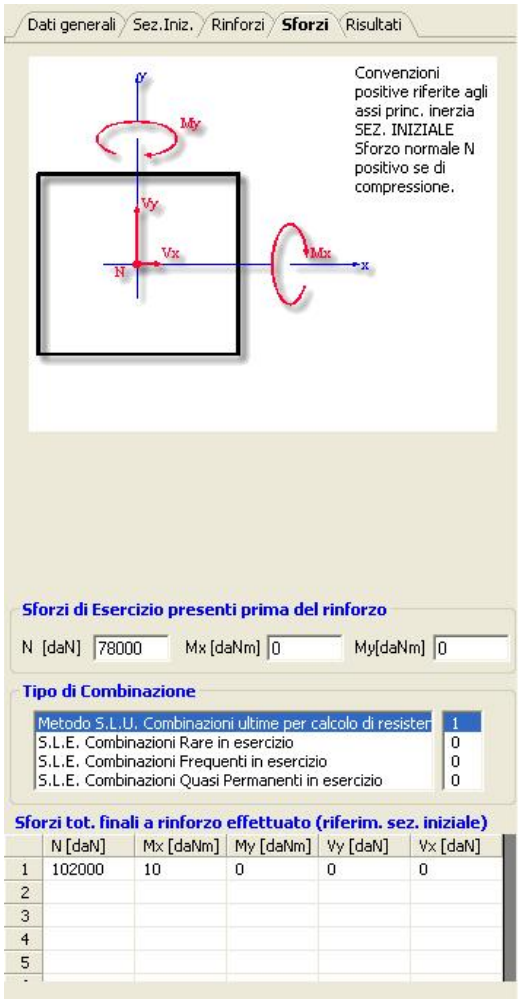
Una volta scelta la sottoscheda Tessuti/Lamine FRP basta portarsi nei dati relativi alla Fasciatura e qui selezionare il rinforzo (CFRP_1) assegnato nell'archivio, il passo, il N° di strati sovrapposti ed il raggio di arrotondamento degli spigoli (minimo 2 cm). Naturalmente si inizia ad assegnare un 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.

© 2020 Geostru Software

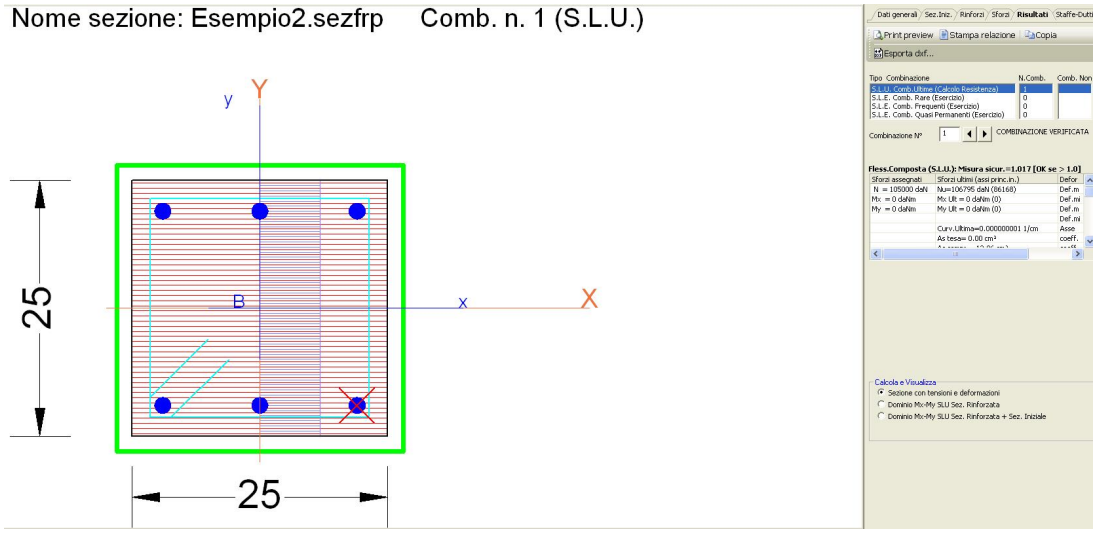
Input Sforzi

In questa aplicazione gli sforzi in esercizio non sono influenti trattandosi di pilastro prevalentemente compresso. Al momento Mx è stato assegnato il valore nullo allo scopo di valutare il massimo sforzo normale disponibile.

© 2020 Geostru Software



Risultati



© 2020 Geostru Software

Gran parte dei risultati (a partire dallo sforzo normale Ultimo pari a 106795 daN > 105000 = 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 106885 daN 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:

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.
NOME SEZIONE: Esempio2.sezfrp
(Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio2.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:	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 - Sezione iniziale pre-rinforzo: fck150

Modulo Elastico secante Ecm:	258926	daN/cm²
Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
Resistenza media a compressione fcm:	172.13	daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	150.00	daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	85.00	daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	daN/cm²
Legge tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico secante Ecm:	258926	daN/cm²
Resis. media a trazione fctm:	18.20	daN/cm²
Resist. confinata max (al max parabola):	85.00	daN/cm²
Resist. confinata alla deform. ultima:	118.00	daN/cm²
Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0020	
Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0040	daN/cm²

ACCIAIO - Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo: Feb32k

Fattore di Confidenza FC assunto:	1.00	
Resistenza media a snervamento = fym :	3150.0	daN/cm²
Resist. media a rottura = ftm :	3622.5	daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15):	2739.0	daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk :	1.15	

© 2020 Geostru Software

Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.036
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: 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): 1890000 daN/cm²
Resistenza caratteristica a rottura ffk sistema FRP: 28800 daN/cm²
Deform. caratteristica a rottura e_fk= ffk/Ef 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 tf singolo strato tessuto/lamina 0.130 mm
Numero strati tessuto/lamina 5
Coeff. efficienza orizzontale kH [(4.40) CNR2013) 0.526
Coeff. efficienza verticale kV [(4.35) CNR2013] 0.563
Pressione laterale efficace di confinamento f1,eff [(4.33)CNR2013]: 7.8 daN/cm²
Efficacia confinamento = f1,eff /fcd [§4.5.2(7)CNR2013]: 9.1 %
Resistenza calcestruzzo confinato fccd [(4.31)CNR2013]: 118.0 daN/cm²
Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza : 0.004
Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità (§4.5.3 CNR2013): 85.0 daN/cm²
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
5	0.0	-9.5	16
6	0.0	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

© 2020 Geostru Software

N°Gen.	N°Barra Ini.		N°Barra Fin.	N°Barre Ø
1	1	4	1	16
2	2	3	1	16

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro	78000
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo	0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo	0

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

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	105000	0	0	0	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] 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	105000	0	0	106795 (86168)	0 (0)	0 (0)	1.017

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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)

© 2020 Geostru Software

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	0.00400	-12.5	12.5	0.00327	-9.5	9.5	0.00327	-9.5	-9.5

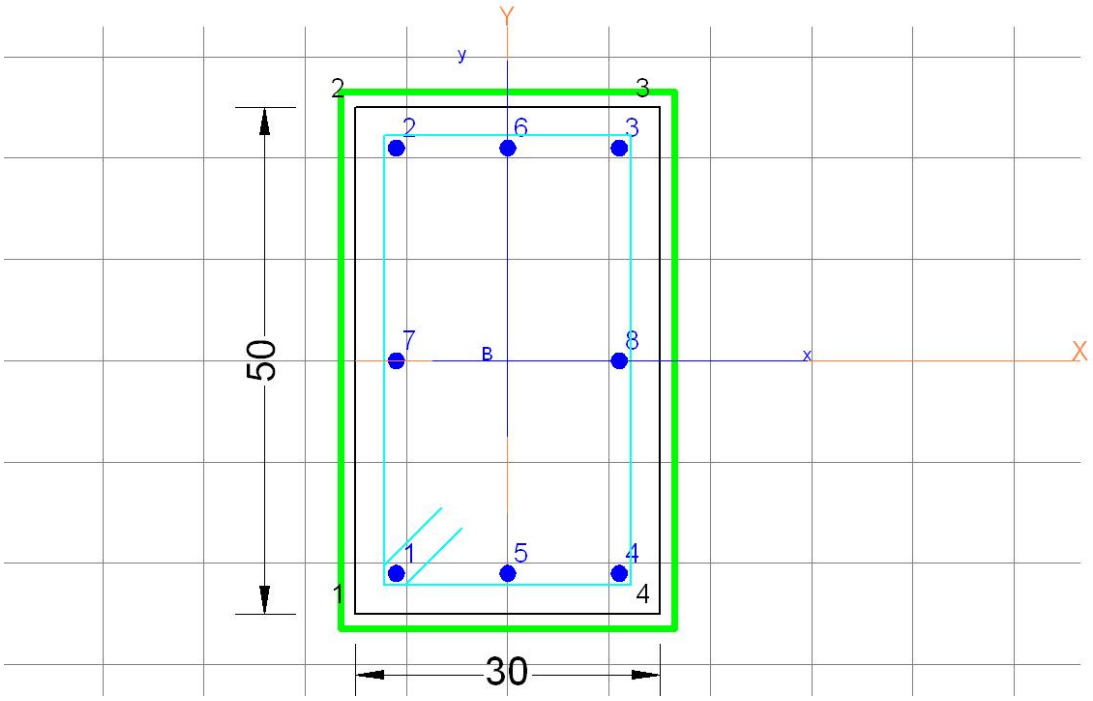
POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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	0.000000001	0.003999991

11.3 Esempio 3

Nome sezione: Esempio3.sezfrp



Nell'ambito di una 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.

© 2020 Geostru Software

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 μ_Φ = 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 μ_Φ = 1.49. Per soddisfare detta domanda si progetta l'applicazione una fasciatura CFRP (nella zona critica dell'asta all'attacco con 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} = 50000 daN

Mx_{Ed} = 14500 daNm

My_{Ed} = 3200 daNm

Vx_{Ed} = 12500 daNm

Vy_{Ed} = 6400 daNm

Input dati generali nel programma

Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali 16:

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 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 F 16 disposte come in figura con copriferro (dal baricentro delle armature) pari a 3 cm.

Dati assegnati relativi al calcestruzzo esistente:

© 2020 Geostru Software

f_{cm} = 210 daN/cm²
FC = 1.20
f_{cd} = 113.3 "

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:
f_{ym} =4300 daN/cm²
f_{yd} = 3116 "
f_{td} = 3116 "
E_s = 2000000 "

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:
Tipo di Applicazione: Tessuto impregnato in situ
Tipo di delaminazione: non interessa in presenza di solo confinamento
η_a = 0.95 = Fattore di conversione ambientale
E_f = 2350000 daN/cm² = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore
f_{fk} = 42000 daN/cm² = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunta dalla scheda tecnica del produttore
$b_{f,l}$ = 20 cm = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore
p_f = 20 cm = $b_{f,l}$ per indicare la fasciatura continua
$t_{f,l}$ = 0.45 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 materiali 58 (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: Rck250 (caratteri qualsiasi per identificare il calcestruzzo utilizzato in questo calcolo - N.B. non immettere mai caratteri speciali come ad esempio ")
fck,cubi: 200/0.83 = 250 daN/cm² viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo

© 2020 Geostru Software

Modulo elastico cls: 299600 daN/cm² (dato ricavato a mano sulla base di f_{ck})

f_{ck} = 200 daN/cm² (dato assegnato)

f_{cd} = 113.3 daN/cm² (dato assegnato)

f_{ctd} = 10.1 (non interviene in questa applicazione)

f_{ctm} = 22.1 (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 acciao = acciaio esistente)

Nome acciaio: Feb38k (caratteri a scelta dell'utente per definire l'acciao esistente)

E_s = 2000000 = modulo elastico dell'acciaio

f_{yk} = 3750 daN/cm² (dato assegnato)

f_{yd} = 3260 daN/cm² (dato assegnato ed utilizzato per il calcolo di resistenza)

f_{tk} = 3750 (valore caratteristico a rottura: questo valore viene impiegato anche nel calcolo di duttilità previsto in questa applicazione)

f_{td} = 3260 (valore di calcolo in corrispondenza della deformazione di rottura di calcolo)

$e_{ptk} = \varepsilon_{uk}$ = 0.045 = deformazione caratteristica a rottura prudenzialmente limitata trattandosi di acciaio esistente (interessa anche il diagramma bilatero utilizzato nel calcolo di duttilità)

$e_{pd_ult} = \varepsilon_{ud}$ = 0.04= deformazione a rottura di calcolo (posta pari a 0.9 ε_{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 = 2700000 daN/cm² (assegnato)

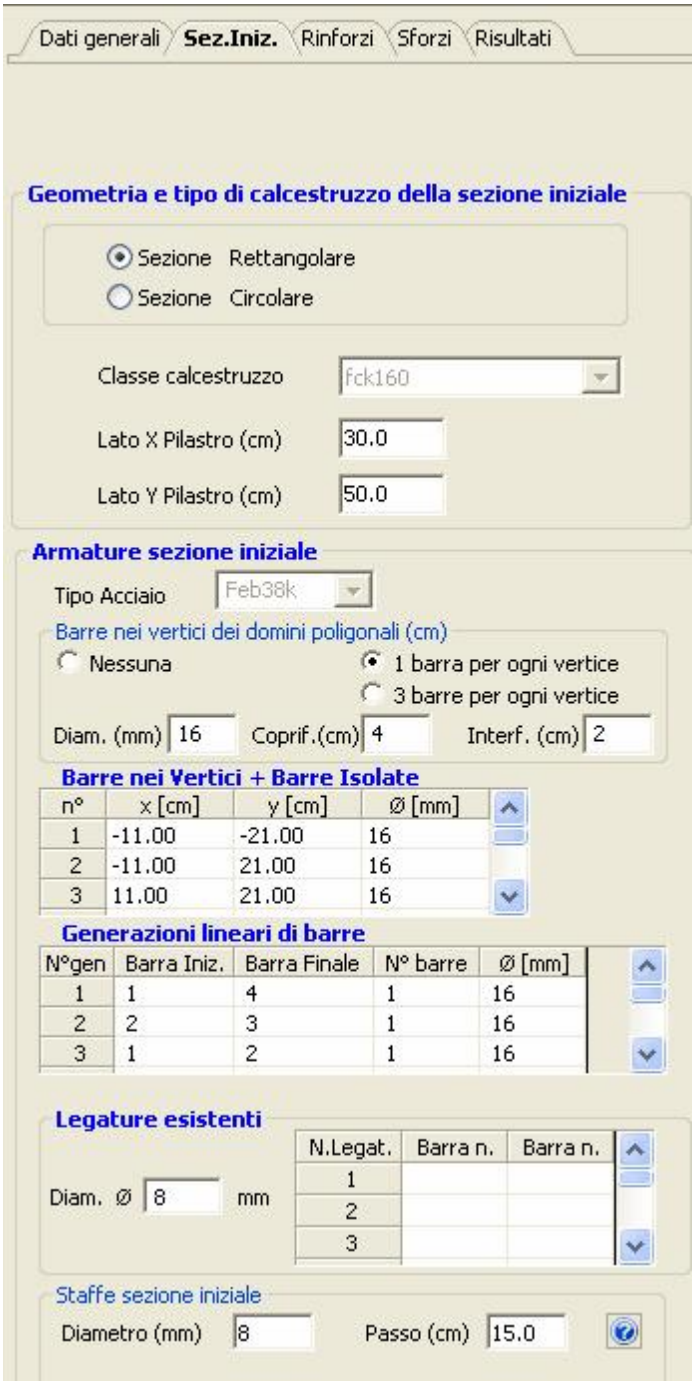
Eta a = η_a = 0.95 (assegnato)

© 2020 Geostru Software

Eta l = η_l 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 iniziale 19 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 grigle):

© 2020 Geostru Software



Input rinforzi

© 2020 Geostru Software

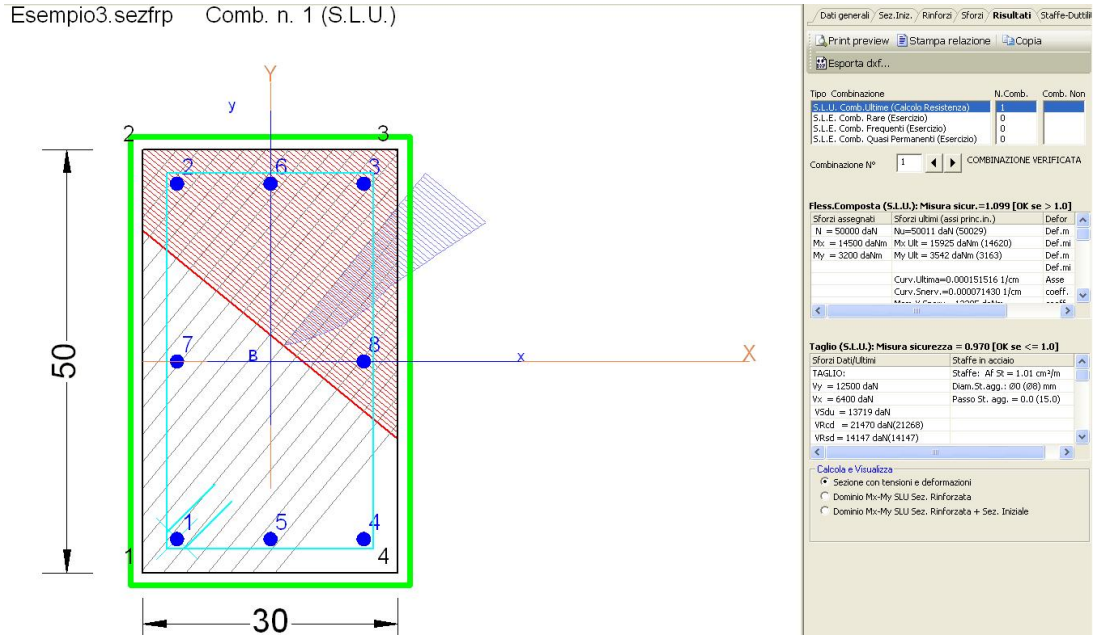
Una volta scelta la sottoscheda Tessuti/Lamine FRP basta portarsi nei dati relativi alla Fasciatura e qui selezionare il rinforzo (CFRP_2) assegnato nell'archivio, il passo, il N° di strati sovrapposti ed il raggio di arrotondamento degli spigoli (minimo 2 cm). Naturalmente si inizia ad assegnare un 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

In questa aplicazione mirata agli SLU gli sforzi in esercizio non sono influenti. Naturalmente è possibile inserire ulteriori combinazioni allo SLU (fino a 60).

Risultati

© 2020 Geostru Software



Si nota il diagramma delle tensioni parabola-trapezio del calcestruzzo che tiene conto dell'incrudimento dovuto al confinamento ma che non porta ad un cospiquo incremento del momento resistente da 14620 daNm (in assenza di confinamento) a 15925 daNm. 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:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio3.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 3
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 - Sezione iniziale pre-rinforzo: fck160

Modulo Elastico secante Ecm:	274800	daN/cm²
Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
Resistenza media a compressione fcm:	210.00	daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	160.00	daN/cm²

© 2020 Geostru Software

Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd: 103.70 daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0: 0.0020
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu: 0.0035 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico secante Ecm: 274800 daN/cm²
Resis. media a trazione fctm: 19.00 daN/cm²
Resist. confinata max (al max parabola): 103.70 daN/cm²
Resist. confinata alla deform. ultima: 184.00 daN/cm²
Deformazione confinata alla max resistenza Epc0: 0.0020
Deformazione confinata ultima Epcu: 0.0040 daN/cm²

ACCIAIO - Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo: Feb38k
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.20
Resistenza media a snervamento = fym : 4300.0 daN/cm²
Resist. media a rottura = ftm : 4945.0 daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15): 3116.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.036
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: 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): 2350000 daN/cm²
Resistenza caratteristica a rottura ffk sistema FRP: 42000 daN/cm²
Deform. caratteristica a rottura e_fk= ffk/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 tf singolo strato tessuto/lamina 0.450 mm
Numero strati tessuto/lamina 2
Coeff. efficienza orizzontale kH [(4.40) CNR2013) 0.374
Coeff. efficienza verticale kV [(4.35) CNR2013] 1.000
Pressione laterale efficace di confinamento f1,eff [(4.33)CNR2013]: 16.9 daN/cm²
Efficacia confinamento = f1,eff /fcd [§4.5.2(7)CNR2013]: 16.3 %
Resistenza calcestruzzo confinato fccd [(4.31)CNR2013]: 184.0 daN/cm²
Deform. ultima calcestruzzo confinato nel calcolo di resistenza : 0.004
Resist. calcestruzzo nel calcolo di duttilità (§4.5.3 CNR2013): 103.7 daN/cm²
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]

© 2020 Geostru Software

1	-11.0	-21.0	16
2	-11.0	21.0	16
3	11.0	21.0	16
4	11.0	-21.0	16
5	0.0	-21.0	16
6	0.0	21.0	16
7	-11.0	0.0	16
8	11.0	0.0	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:	15.0	cm
Staffe sez. iniziale:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro	0
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo	0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo	0

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

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	50000	14500	3200	12500	6400

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

© 2020 Geostru Software

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] 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	50000	14500	3200	50011	15925 (14620)	3542 (3163)	1.099

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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	0.00400	15.0	25.0	0.00315	11.0	21.0	-0.00389	-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	0.000096264	0.000117006	-0.000369095

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione non rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vrcd	Taglio resistente finale [daN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [daN] 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

© 2020 Geostru Software

	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	13719		21470 (21268)	14147 (14147)		28.1	34.2	2.50

1.250

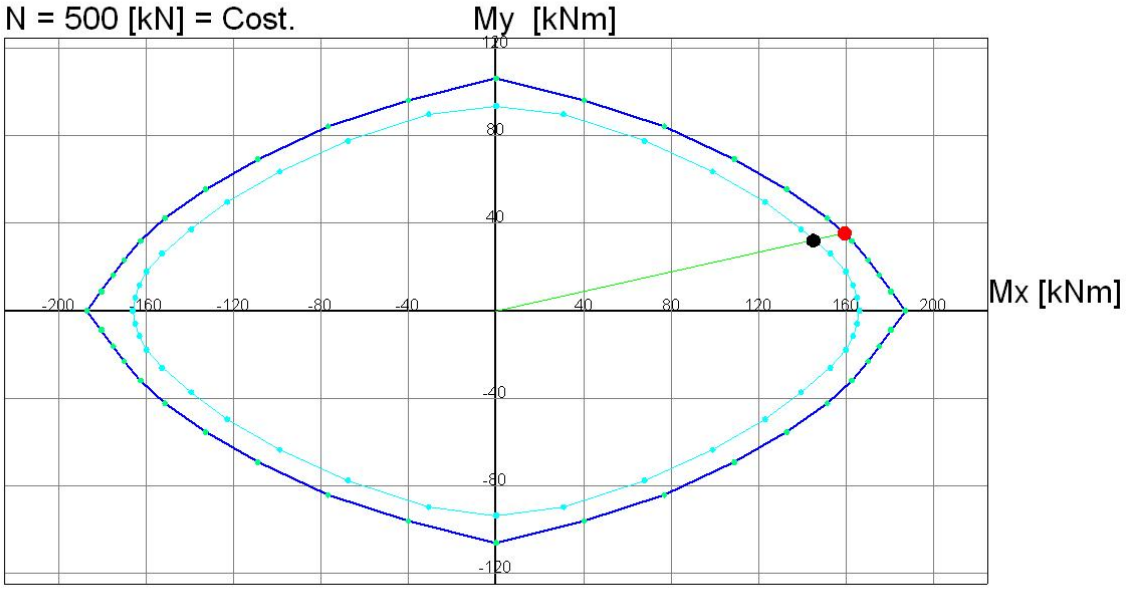
DOMINI DI RESISTENZA

Il programma consente anche la possibilità di confronto tra il dominio di resistenza (a sforzo normale N = costante) della sezione rinforzata e quello (in colore ciano) della sezione non rinforzata.

DOMINIO INTERAZIONE Mx-My (STATI LIMITE ULTIMI)

Nome Sezione: Esempio3.sezfrp

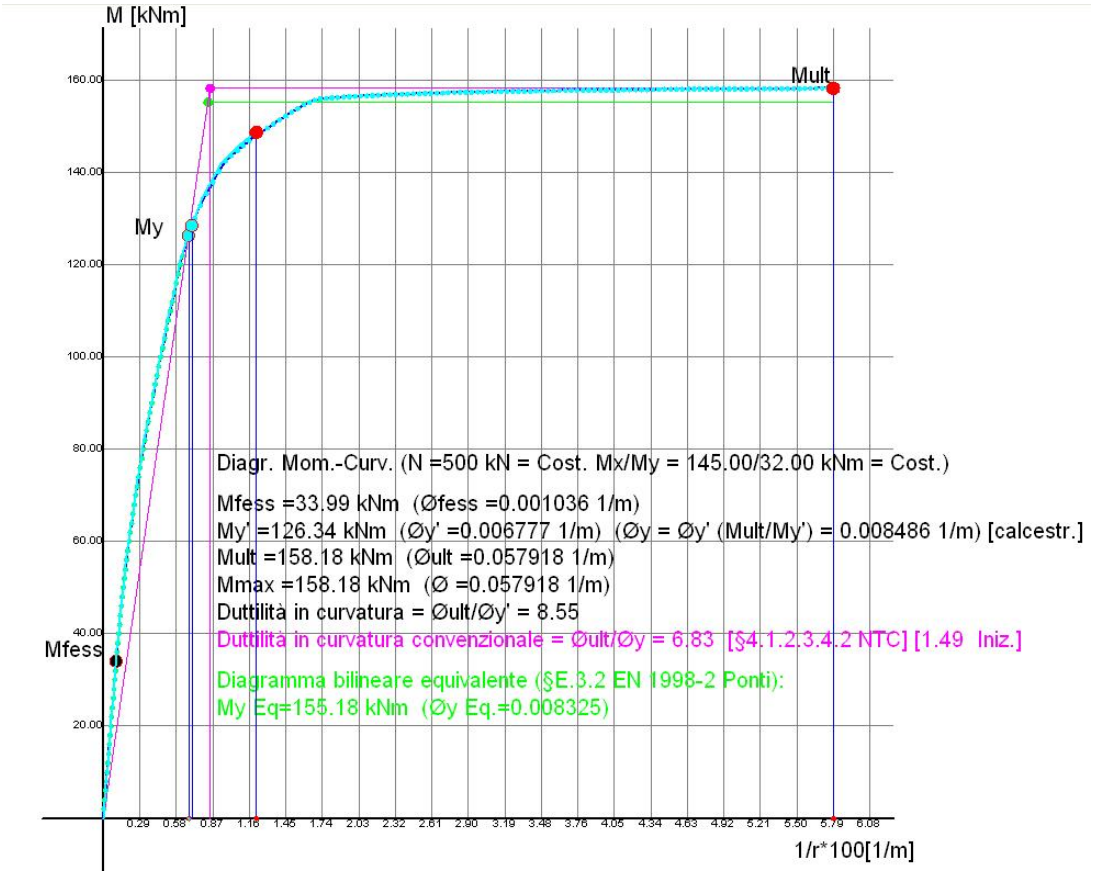
Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio3.sezfrp



Passo Momenti Mx, My griglia = 40 kNm

DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE

© 2020 Geostru Software

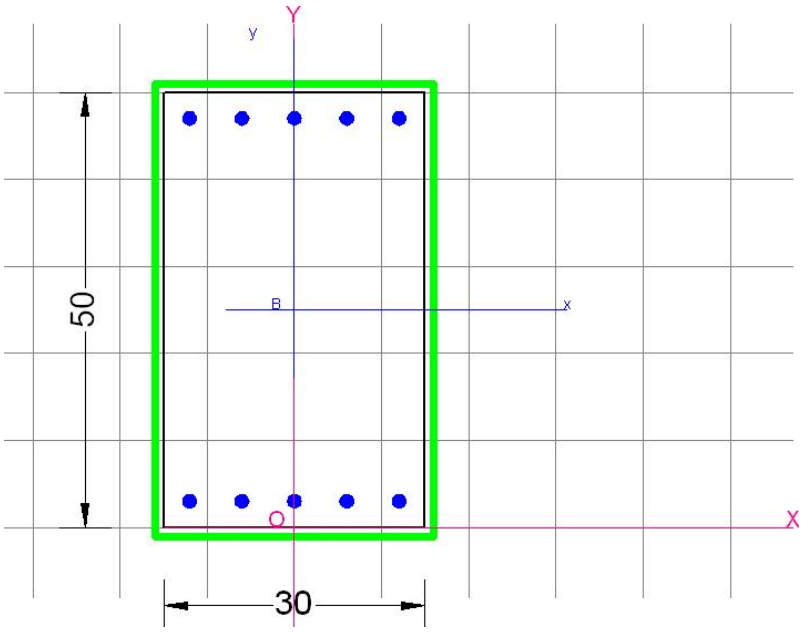


Per il calcolo di duttilità basta passare alla scheda Staffe-Duttilità e selezionare l'opzione Cls. confinato per ottenere il diagramma momenti-curvature in figura.
Il diagramma col rinforzo e senza (qui sovrapposti) sono coincidenti fino alla curvatura ultima del diagramma della sezione priva di rinforzo (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.

© 2020 Geostru Software

11.4 Esempio 4

: Esempio4.sezfrp



La sezione di trave in figura (tratta da [8 262 §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 F 16, quella trasversale insufficiente è costituita da 1F8/15cm.
Le sollecitazioni di progetto sono:

N_{Ed} = 0 daN
M_{Ed} = 16500 daNm
Ved = 28750 daN

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 dai sui materiali si assumono:

f_{cm} = 250 daN/cm²
FC = 1.0
f_{cd} = 141.6 "

© 2020 Geostru Software

f_{ym} =4300 daN/cm²
FC = 1.0
f_{yd} = 3739 "
E_s = 2000000 "

Dati Tessuto CFRP scelto per il rinforzo:
Tipo di sistema FRP: Preformato
η_a = 0.95 = Fattore di conversione ambientale
E_f = 2700000 daN/cm² = modulo elastico di calcolo desunto dalla scheda tecnica del produttore
f_{fk} = 27000 daN/cm² = resistenza caratteristica di calcolo desunta dalla scheda tecnica del produttore
$b_{f,l}$ = 15 cm = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore
p_f = 20 cm = passo (interasse) delle fasce
$t_{f,l}$ = 0.167 mm spessore di un singolo strato di tessuto scelto dal catalogo del produttore

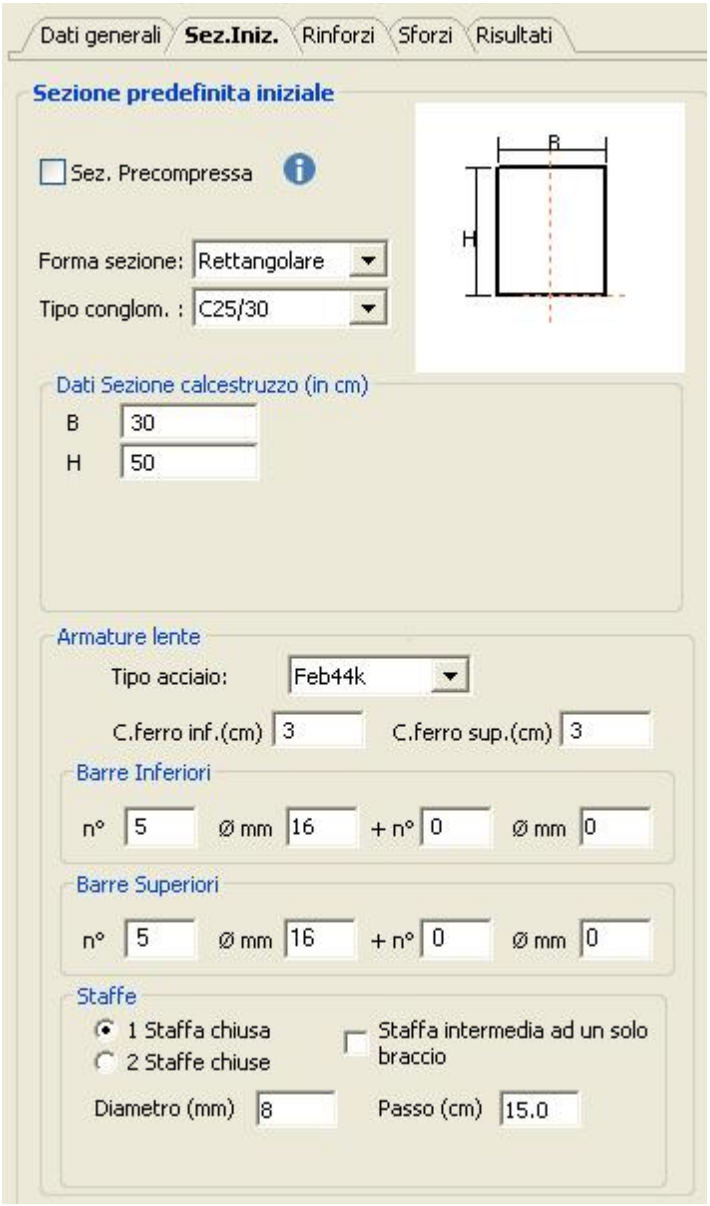
Input dati generali nel programma

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 generali 16:
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 iniziale 19 in cui vanno riportate le caratteristiche geometriche ed il tipo della sezione iniziale di calcestruzzo ed acciaio.

© 2020 Geostru Software

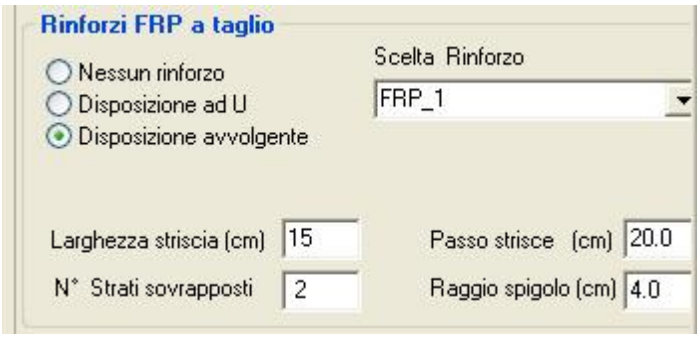
La finestra compilata ha il seguente aspetto (si notino le caselle di scelta del tipo di calcestruzzo ed acciaio corrispondenti ai nomi dei materiali assegnati nell'archivio materiali):



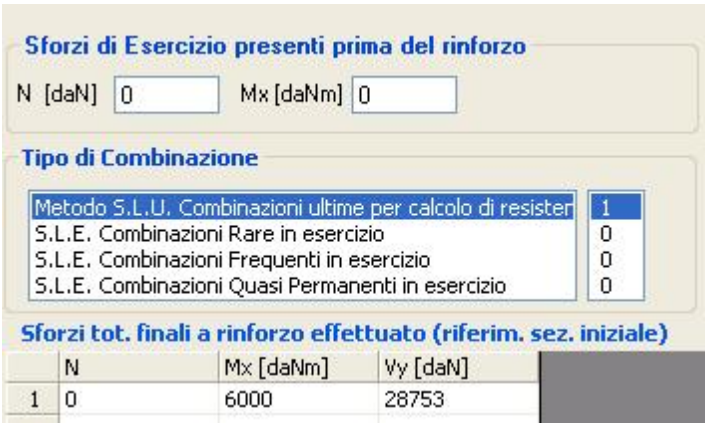
Input rinforzi a taglio

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).

© 2020 Geostru Software



Sforzi



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 14337 daN, le staffe iniziali portano solo 15900 daN a fronte della richiesta resistenza di 28753 daN. I suddetti tre contributi conducono ad una resistenza lato acciaio pari a 30237 daN superiore a quella richiesta. La resistenza dei puntoni a taglio resta a 41468 daN e quindi è anch'essa verificata.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.
NOME SEZIONE: Esempio4.sezfrp
(Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio4.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 4 Lenci §6.9 .3
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave
Forma della sezione:	Rettangolare

© 2020 Geostru Software

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: 250.00 daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo: 250.00 daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd=fcm/(FC*1.5): 141.60 daN/cm²
Resistenza ridotta fcd' (verifica a taglio): 70.80 daN/cm²
Deform. unitaria alla massima resistenza: 0.0020
Deformazione unitaria ultima ecu: 0.0035
Legge tensioni-deformazioni: Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico secante Ecm: 314750 daN/cm²
Resist. media a trazione fctm: 25.60 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo per barre sezione esistente: Feb44k
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.00
Resistenza caratteristica a snervamento = fym : 4300.0 daN/cm²
Resistenza media a snervamento: 4300.0 daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15): 3739.0 daN/cm²
Rapporti ftk/fyk = ftm/fyk: 1.00
Resist. caratteristica a rottura di progetto ftd: 3739.0 daN/cm²
Deform. a rottura di progetto Epu: 0.036 daN/cm²
Modulo Elastico Es: 2000000 daN/cm²
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. coversione EtaA (§3.5.1 CNR2013) 0.950
Modulo elastico Ef composito (§2.2.1 CNR2013): 2700000 daN/cm²
Resistenza caratteristica a rottura composito ffk : 27000 daN/cm²
Coeff. parziale per distacco [§3.4.1] 1.10
Deformazione caratteristica a rottura e_fk= ffk/Ef 0.0100
Tens. ffdd delaminazione in modalità 1 4187 daN/cm²
Tens. ffed delam. efficace di progetto [(4.22)CNR2013] 5412 daN/cm²
Lunghezza ottimale di ancoraggio Le [(4.1)CNR2013] 200 mm
Numero strati di tessuto (o lamina) 2
Larghezza singola striscia tessuto (o lamina) 150 mm
Spessore equival. singolo strato tessuto/lamina: 0.167 mm
Passo strisce: 200 mm
Altezza anima sezione impegnata dal rinforzo: 42 cm
Raggio curvatura rc arrotondamento spigoli sezione cls. (>=20): 40 mm
Angolo Beta di disposizione delle fibre: 90.0 °

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Base: 30.0 cm
Altezza: 50.0 cm
Barre inferiori: 5Ø16 (10.1 cm²)
Barre superiori: 5Ø16 (10.1 cm²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre): 3.0 cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre): 3.0 cm
Diametro Staffe: 8 mm

© 2020 Geostru Software

Passo Staffe: 15 cm
N. Bracci Staffa: 2

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro (posit. se di compress.): 0
Momento flettente [daNm] preesistente (posit. se comprime le fibre sup.): 0

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N Sforzo normale finale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata finale [daN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N°Comb.		N	Mx	Vy
1	0	6000	28753	

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [daNm] (positivo se tende le fibre inferiori)
N ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compressione)
M ult Momento flettente ultimo[daNm] (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 [daNm]

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn
1	S	0	6000	27	16721 (16721)	2.787	45.6	16018

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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

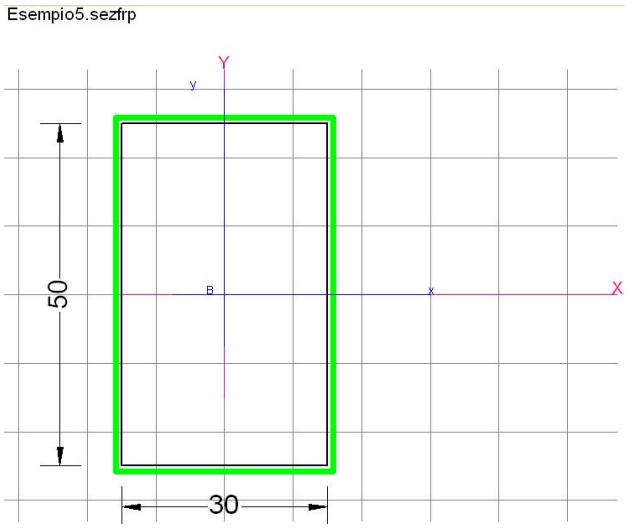
METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

© 2020 Geostru Software

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
VrFrp Taglio trazione resistente assorbito dal solo rinforzo FRP
Vrcd Taglio resistente [daN] lato calcestruzzo (tra parentesi resist. esistente)(4.1.19) NTC.
Vrsd Taglio traz. resistente [daN] 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	28753	14337	41468 (41467)	30237 (15900)	30.0	1.50	1.000

11.5 Esempio 5



La sezione in figura, tratta da [8 262 §7.6] va rinforzata a torsione in quanto le sue staffe F8/25cm sono insufficienti rispetto al nuovo momento torcente sollecitante T_{Ed} = 3900 daNm.

Le armature longitudinali resistenti a torsione hanno un'area complessiva di 12 cm².
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

© 2020 Geostru Software

f_{ck} = 200 daN/cm²
f_{cd} = 113.3 "

Dati assegnati relativi alle barre in acciaio:
Tipo: Feb38k
f_{yk} =3750 daN/cm²
f_{yd} = 3260 "
E_s = 2000000 "

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
η_a = 0.95 = Fattore di conversione ambientale scelto per Condizione di esposizione Interna e di tipo di fibra al Carbonio
E_f = 2700000 daN/cm² = modulo elastico di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore
$\alpha_{ff} \cdot f_{fib} = f_{fk}$ = 27000 daN/cm² = resistenza caratteristica di calcolo (dopo l'impregnazione) desunto dalla scheda tecnica del produttore
$b_{f,l}$ = 15 cm = Larghezza base del tessuto CFRP scelto dal catalogo del produttore
p_f = 20 cm = passo (interasse) delle fasce
$t_{f,l}$ = 0.167 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 16:
Tipologia di sezione: Torsione (unico dato da fornire)

Input dati materiali
A questo punto vanno assegnati i dati dei materiali nell'Archivio materiali 58 (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 modificano i dati del primo rigo della griglia ponendoli uguali a quello del calcestruzzo C20/25:
Classe cls: Rck250

© 2020 Geostru Software

fck,cubi: = 250 daN/cm² viene solo indicato per completezza di descrizione ma non interviene nel calcolo
Modulo elastico cls: 314750 daN/cm² (dato ricavato a partire da f_{ck})
f_{ck} = 200 daN/cm² (dato assegnato)
f_{cm} = 203 daN/cm² (dato assegnato)
FC = 1.2
f_{cd} = 113.3 daN/cm² (dato assegnato)
f_{ctd} = 10.1
f_{ctm} = 22.1
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 = 2000000 = modulo elastico dell'acciaio
f_{ym} = 3750 daN/cm² (dato assegnato)
FC = 1.0
f_{yd} = 3260 daN/cm² (dato assegnato ed utilizzato per il calcolo di resistenza)
f_{td} = 3260 (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 = 2700000 daN/cm² (assegnato)
Eta a = η_a = 0.95 (assegnato)
Eta l = η_l 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)

© 2020 Geostru Software

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 19 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 dei 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.

© 2020 Geostru Software

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 2775 daNm, le staffe iniziali portano solo 1099 daNm a fronte della richiesta resistenza di 3900 daN.
La resistenza a torsione incrementale prodotta dalla fasciatura FRP ottenuta applicando le CNR2013 risulta quindi leggermente inferiore a quella dedotta dalle LG2009 pari invece a 3100 daN esposta nel volume da cui è tratto l'esempio.

© 2020 Geostru Software

TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE RETTANGOLARE RINFORZATA CON FRP
NOME FILE SEZIONE: Esempio5.sezfrp
(Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\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: Rck250
Resistenza media: 204.00 daN/cm²
Fatt. confidenza cls. FC: 1.20 daN/cm²
Resis. compr. di calcolo fcd : 113.33 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd': 56.67 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo: Feb38k
Resistenza media acciaio fym: 3750.0 daN/cm²
Fattore confidenza acciaio FC: 1.00 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3261.0 daN/cm²

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: 2700000 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ffk: 27000 daN/cm²
Deform. caratteristica a rottura e_fk= ffk/Ef 0.0100
Tens. delam. efficace di progetto (formula [4.22]CNR2013) 4431 daN/cm²
Numero strati di tessuto 3
Larghezza singola striscia tessuto 100 mm
Spessore singolo strato tessuto 0.167 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: 3900 daNm
Momento Torc. Resist. Trcd sez. tubolare conglom.: 4451 daNm
Momento Torc. Resist. Trsd sviluppato dalle staffe: 1099 daNm
Momento Torc. Resist. Trld delle barre longitudinali: 5353 daNm
Momento Torc. Resist. Trdf del tessuto FRP: 2775 daNm

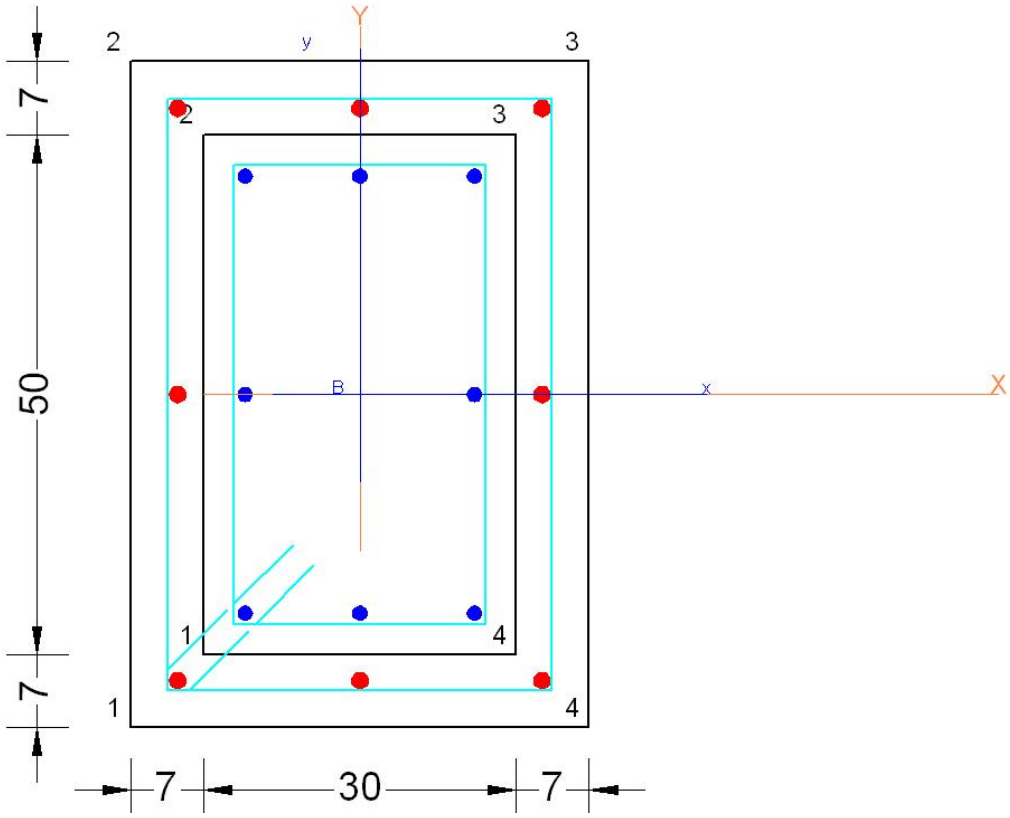
Sezione NON verificata a torsione semplice (Ted > Trsd+Trdf)

Area Ac del perimetro esterno sezione: 1500 cm²
Misura Pc del Perimetro esterno sezione: 160 cm
Spessore sez. anulare resistente: 9.4 cm
Area resistente (racchiusa dal perimetro medio): 838 cm²
Misura perimetro medio sezione tubolare resist.: 123 cm

Staffe sez. iniziale: 1 Staffa Ø 8 / 25n°/cm
Area barre longit. sez. iniziale: 12.0 cm²

© 2020 Geostru Software

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 = 82000 daN
Mx=12500 daNm
My = 2600 daNm
Vx = 34000 daN
Vy = 9800 daN

© 2020 Geostru Software

Si vuole inoltre verificare la sezione rinforzata per una combinazione SLE quasi permanente:
N = 52000 daN
Mx=2700 daNm
My = 1200 daNm

Si stima infine che gli sforzi di esercizio all'atto del rinforzo siano prevalentemente costuiti dal solo sforzo normale: N=42000 daN.

Dati Calcestruzzo sezione iniziale (esistente) denominata fck160:
Si sono eseguite 10 prove per ricavare una resistenza media f_{cm}= 210 daN/cm² da cui, avendo assunto un fattore di confidenza FC = 1.35 e γ_c=1.5, si ha:

$f_{cd} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_c)$ = 104 daN/cm²

$f_{ck} = f_{cm}$ - 50 = 160 daN/cm² [(EN 13791 Approccio B per numero di prove 10 < n < 14]

$E_c = 220000(f_{cm}/100)^{0.3}$ = 274800 daN/cm²

f_{ctm} = 19.0 daN/cm²

f_{ctd} = 8.8 daN/cm²

Coeff.viscosità = f = 0 cioè nel calcestruzzo della sezione esistente si suppone del tutto esaurito il fenomeno lento della viscosità (per gli sforzi incrementali)

Dati calcestruzzo camicia:
Si è scelto un calcestruzzo C25/30 i cui dati, già presenti nell'archivio materiali, sono (vanno usati i valori nominali):

f_{cm} = 330.0 daN/cm²

f_{cd} = 141.6 daN/cm²

f_{ck} = 250 daN/cm²

E_c = 314750 daN/cm²

f_{ctm} = 25.6 daN/cm²

f_{ctd} = 11.4 daN/cm²

Coeff.viscosità = f = 1.36 (equivalente a un coeff. di omogeneizzazione n=15 ottenuto dalla seguente relazione: $f = n \cdot E_{cm}/E_s - 1$)

Dati acciaio in barre esistente:
I valori medi delle prove hanno confermato i dati sulle caratteristiche dell'acciaio prescritto nel progetto originario (FC=1):

© 2020 Geostru Software

Tipo: FeB38k
f_{yk} = 3750 daN/cm²
f_{yd} = 3260 daN/cm²
E_s = 2000000 daN/cm²
epd_ult = ε_{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} = 4500 daN/cm²
f_{yd} = 3913 daN/cm²
E_s = 2000000 daN/cm²
epd_ult = ε_{ud} = 0.0675

Input dati generali nel programma
Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali[16]:
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 = 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)

© 2020 Geostru Software

Input dati materiali

A questo punto vanno assegnati i dati prima descritti dei materiali nell'Archivio materiali 58 (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 grglia e quindi non occorre digitare nulla.

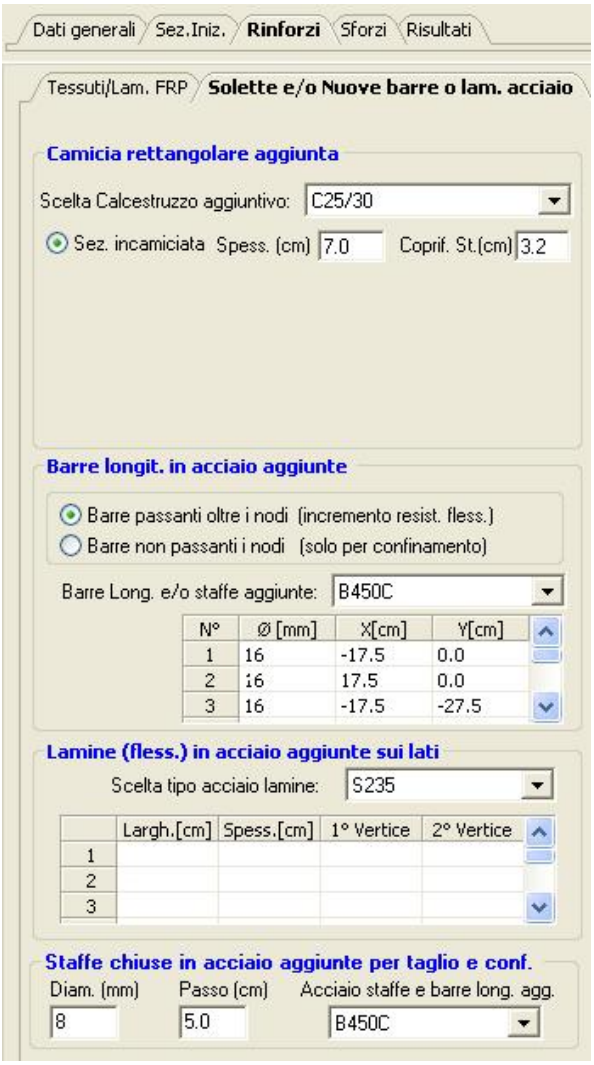
griglia dati Acciai: come sempre il dati dell'acciaio esistente vanno inseriti nella prima riga della griglia. I dati nominali dell'accaio di rinforzo B450C sono già presenti nella grglia e quindi non occorre digitare nulla.

© 2020 Geostru Software

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 materiali[58]). Sono state inoltre assegnate le barre esistenti: 8F14 (4 agli spigoli con copriferro 4 cm + le barre intermedie assegnate tramite generazione automatica). Sono infine state assegnate le staffe esistenti (1F8/20cm).

Input rinforzi

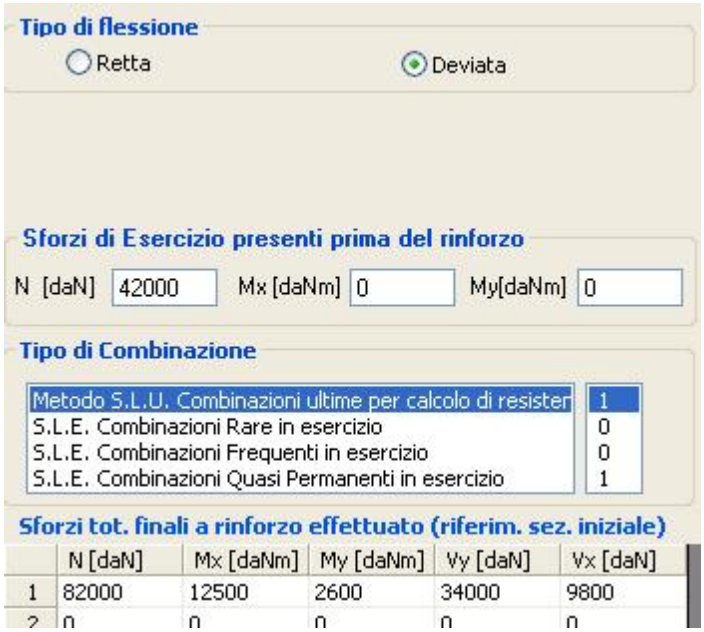


Per generare la camicia basta selezionare la corrispondente opzione e lo spessore in cm. Va quindi selezionata la fondamentale opzione di barre passanti oltre i nodi che presuppone il collegamento delle nuove barre a quelle del piano

© 2020 Geostru Software

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 (1F8/5cm) 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.

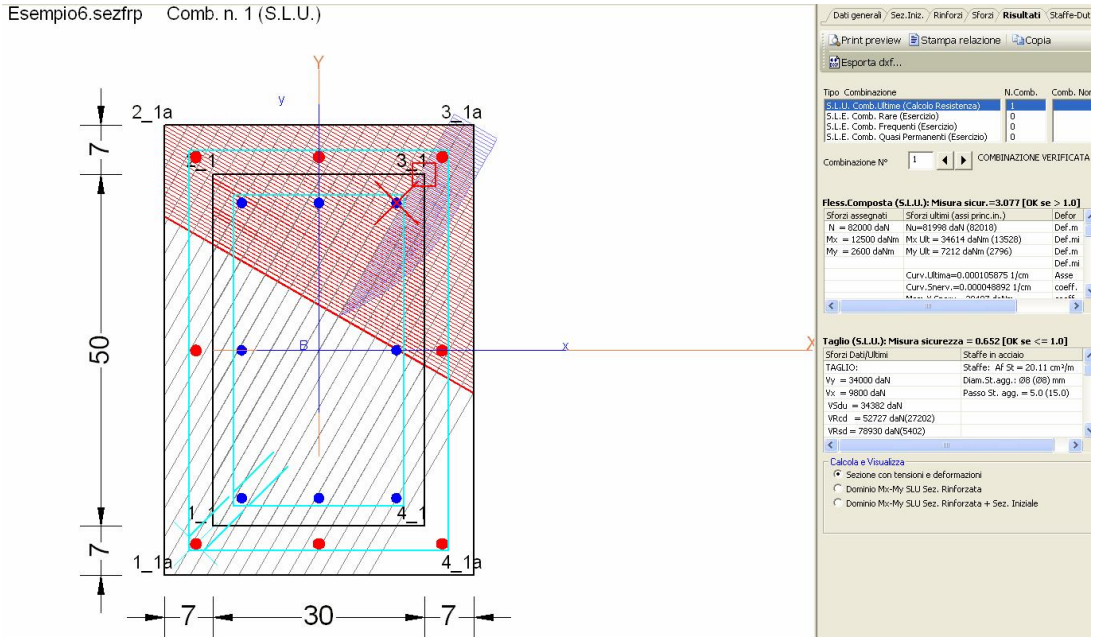
Sforzi



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

© 2020 Geostru Software



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 forzi iniziali.

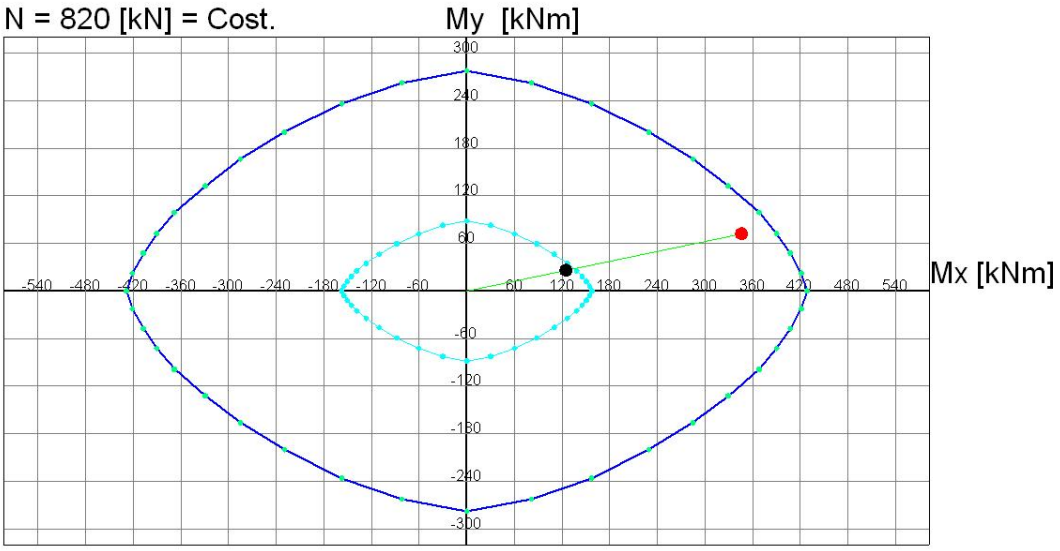
Domini di resistenza

© 2020 Geostru Software

DOMINIO INTERAZIONE Mx-My (STATI LIMITE ULTIMI)

Nome Sezione: Esempio6.sezfrp

Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio6.sezfrp

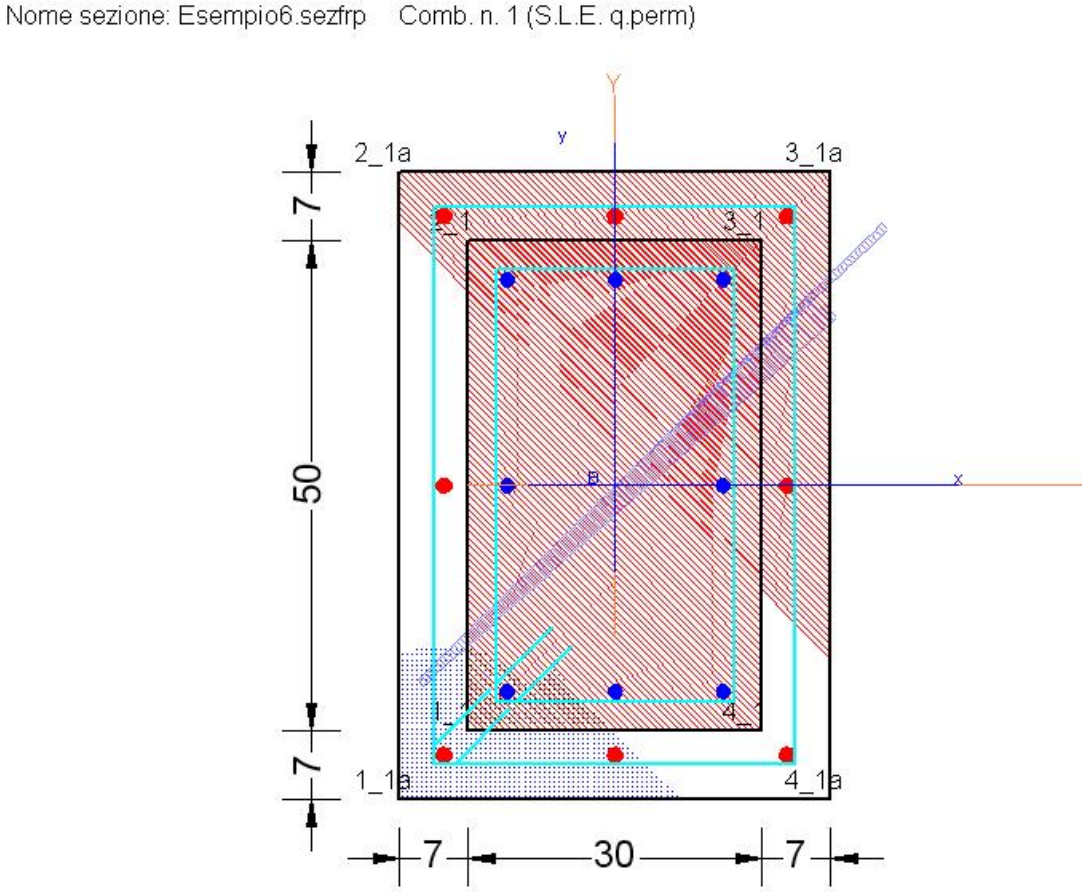


Passo Momenti Mx, My griglia = 60 kNm

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 sllecitazione 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

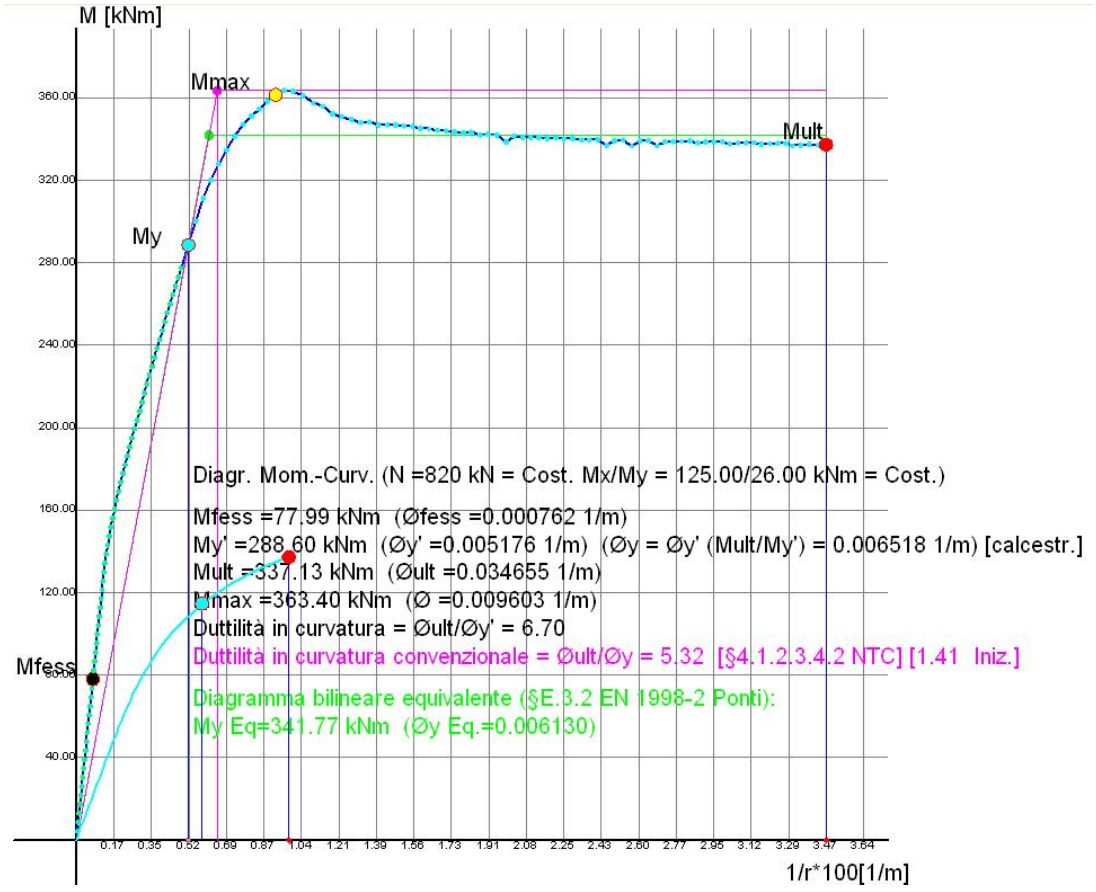
© 2020 Geostru Software



Si notino come la sezione iniziale e la camicia ammettino 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 evidenzaita 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

© 2020 Geostru Software



Il diagramma momenti curvature 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 (μ_Φ = 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).

© 2020 Geostru Software

Il programma consente anche il calcolo del diagramma momenti curvature 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:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio6.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 6 Camicia ca
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)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Sezione iniziale pre-rinforzo: fck160

Modulo Elastico secante Ecm:	274800	daN/cm²
Fattore di Confidenza FC assunto:	1.35	
Resistenza media a compressione fcm:	210.00	daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	160.00	daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	103.70	daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	daN/cm²
Legge tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico secante Ecm:	274800	daN/cm²
Coeff. Viscosità post-rinforzo (solo S.L.E.) :	0.00	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	72.00	daN/cm²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300	mm
Resist. confinata max (al max parabola):	0.00	daN/cm²
Resist. confinata alla deform. ultima:	0.00	daN/cm²
Deformazione confinata alla max resistenza Epc0:	0.0000	
Deformazione confinata ultima Epcu:	0.0000	daN/cm²

CALCESTRUZZO - Classe cls. camicia: C25/30

Spessore camicia c.a.:	7.0	cm
Modulo Elastico secante Ecm:	314758	daN/cm²
Resistenza media a compressione fcm:	330.00	daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo:	250.00	daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd:	141.70	daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0:	0.0020	
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu:	0.0035	daN/cm²
Legge tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico secante Ecm:	314758	daN/cm²
Coeff. Viscosità post-rinforzo (solo S.L.E.) :	1.36	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50	daN/cm²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300	mm

© 2020 Geostru Software

ACCIAIO - Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo: Feb38k
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.00
Resistenza media a snervamento = fym : 3750.0 daN/cm²
Resist. media a rottura = ftm : 4312.5 daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15): 3261.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.036
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo ß1*ß2 (SLE rare e frequenti): 1.00
Coeff. Aderenza differito ß1*ß2 (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 fym (per duttilità): 5175.0 daN/cm²
Resistenza media a rottura ftm (per duttilità): 5951.3 daN/cm²
Resistenza caratteristica a snervamento fyk: 4500.0 daN/cm²
Resistenza a snervamento di progetto fyd: 3913.0 daN/cm²
Resistenza a rottura di progetto ftd: 3913.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.068
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo ß1*ß2 (SLE rare e frequenti): 1.00
Coeff. Aderenza differito ß1*ß2 (SLE quasi permanenti): 0.50
Coeff. K2 nel calcolo fessur. per barre pre-rinforzo ad aderenza migliorata 0.4

CARATTERISTICHE DOMINI 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

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]

© 2020 Geostru Software

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
5	0.0	-21.0	14
6	0.0	21.0	14
7	-11.0	0.0	14
8	11.0	0.0	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]
1	-17.5	0.0	16.0
2	17.5	0.0	16.0
3	-17.5	-27.5	16.0
4	-17.5	27.5	16.0
5	17.5	27.5	16.0
6	17.5	-27.5	16.0
7	0.0	-27.5	16.0
8	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	

Diam. Staffe di Rinforzo:	8	mm
Passo Staffe di Rinforzo:	5.0	cm

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

© 2020 Geostru Software

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro 42000
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo 0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo 0

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

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	82000	12500	2600	34000	9800

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI ASSEGNATI PER OGNI COMBINAZIONE

N Sforzo normale finale [daN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata finale [daNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata finale [daNm] 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	52000	2700	1200

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult Momento flettente ultimo [daNm] 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	82000	12500	2600	81998	34614 (13528)	7212 (2796)	3.077

© 2020 Geostru Software

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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	0.00350	22.0	32.0	0.00266	17.5	27.5	-0.00423	-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	0.000052537	0.000091921	-0.000597276

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
VR Agg Taglio resistente [daN] sviluppato dalle sole staffe aggiuntive. (riduz. al 90% §C8.7.2.5 NTC)
Vrcd Taglio resistente finale [daN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd Taglio resistente [daN] assorbito dalle nuove staffe (4.1.18)NTC. + resist. staffe esistenti. (Riduz. 10% §C8.7.2.5 NTC)
Vrw Taglio resistente [daN] assorbito dalle sole staffe aggiuntive
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	34382	78930	52727 (27202)	78930 (5402)	44.6	44.6	2.50	1.205

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - POSIZIONE ASSE NEUTRO

a1, b1, c1 Sez. Iniziale: Coeff. eq. dell'asse neutro a0X+b0Y+c0=0 nel rif. X,Y,O gen.
a2, b2, c2 Sez. Aggiunta: Coeff. eq. dell'asse neutro a1X+b1Y+c1=0 nel rif. X,Y,O gen.
a0=0.0000000 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro a0X+b0Y+c0=0
b0=0.0000000 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro a0X+b0Y+c0=0

© 2020 Geostru Software

c0=0.0001870 Sez. Iniziale Pre-Rinforzo: Coeff. eq. dell'asse neutro a0X+b0Y+c0=0

N°Comb	a1	b1	c1	a2	b2	c2
1	0.0000028	0.0000028	0.0001754	0.0000028	0.0000028	-0.0000116

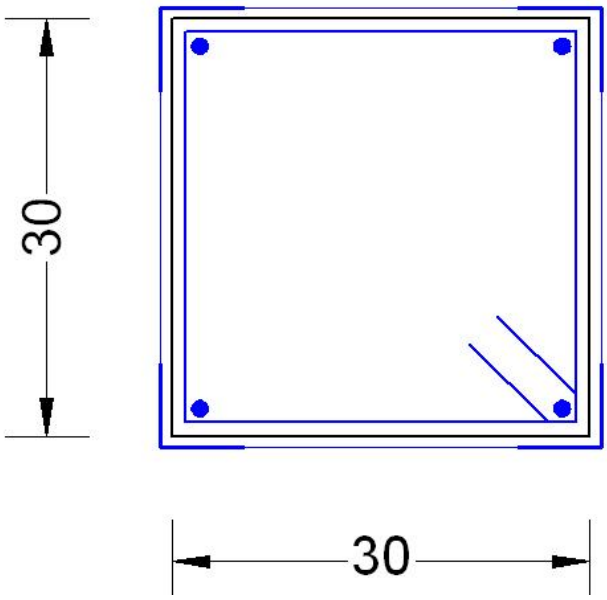
COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel cls. [daN/cm²]. 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 [daN/cm²]. 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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
Af eff. Area armature in acciaio [cm²] 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.

Comb-Dom	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	Af eff.	Srm	K3	Ap. fess.
1 - 1	S	52.4(24.9)	15.0	25.0	172(374)		-11.0	-21.0	---	---	---	---
1 - 2	S	18.6	22.0	32.0	-274	-17.5	-27.5	235	4.0	156	0.125	0.015

© 2020 Geostru Software

11.7 Esempio 7



La sezione in figura è tratta da un esempio di calcolo svolto nell'Allegato alle Linee Guida Reluiss [7 262] 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 4F12 longitudinali e con staffe F8/20cm. Il copriferro è di 2cm.
Si stima infine che gli sforzi di esercizio all'atto del rinforzo siano prevalentemente costuiti dal solo sforzo normale: N=15000 daN.
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=20000 daN
Mx= 3600 dam

Dati Calcestruzzo sezione iniziale (esistente):
Dalle prove eseguite (o dai certificati originali) si è ottenuta per il calcestruzzo la resistenza media f_{cm}= 150 daN/cm² da cui,

© 2020 Geostru Software

avendo assunto un fattore di confidenza F_c = 1.35 e γ_c=1.5, si ha:
$f_{cd} = f_{cm}/(F_c \cdot \gamma_c)$ = 74 daN/cm². 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):
$f_{cc} = f_{cm}$ / Fc = 150/1.35 = 111 daN/cm²
E_c = 250000 daN/cm²
f_{ctm} = 14.9 daN/cm²
f_{ctd} = 7 daN/cm²

Dati acciaio in barre esistente:
Dai certificati originali si sono assunti i seguenti dati relativamente caratteristiche dell'acciaio in barre esistente:
Tipo: Feb38k
FC = 1
f_{ym} = 3750 daN/cm²
f_{yd} = 3550 daN/cm²
E_s = 2000000 daN/cm²
epd_ult = ε_{ud} = 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} = 6120 daN/cm²
f_{yd} = 5320 daN/cm²
E_s = 2000000 daN/cm²

Input dati generali nel programma
Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali[16]:
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)

© 2020 Geostru Software

Percorso di sollecitazione: N = 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[58] (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

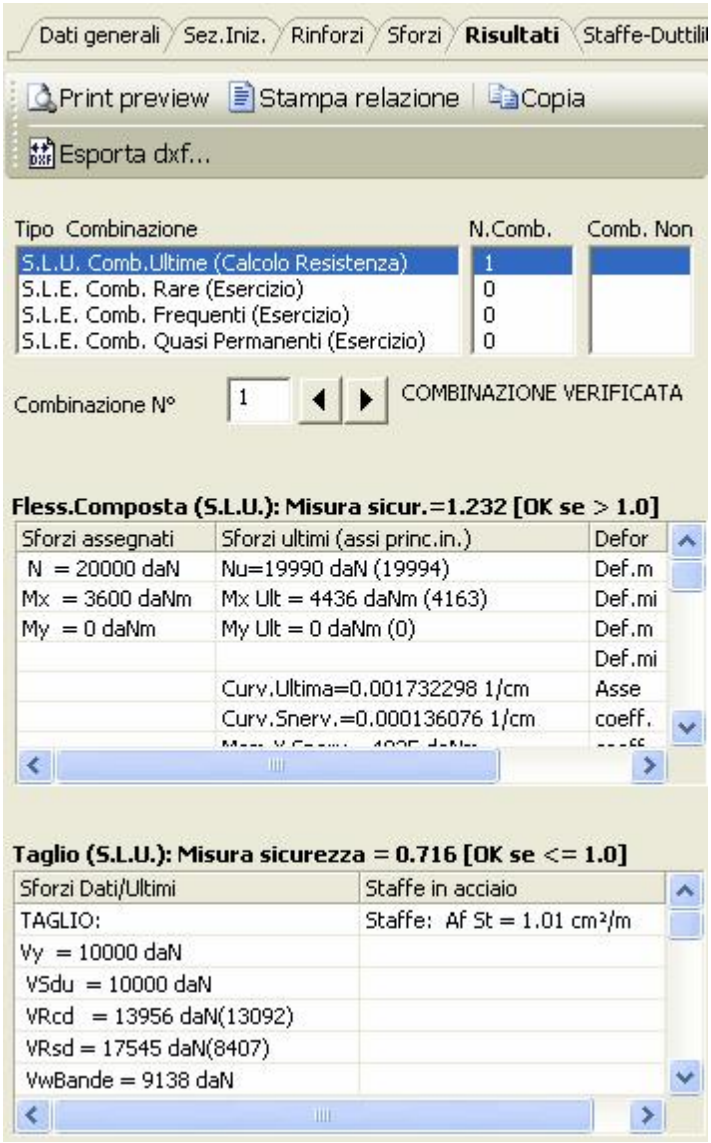
La scheda Dati sezione iniziale[19] va riempita con i semplici dati della sola sezione iniziale in studio come già fatto nei precedenti esempi.

Input rinforzi

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[262]] 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 5×0.6= 3 cm).

Risultati

© 2020 Geostru Software



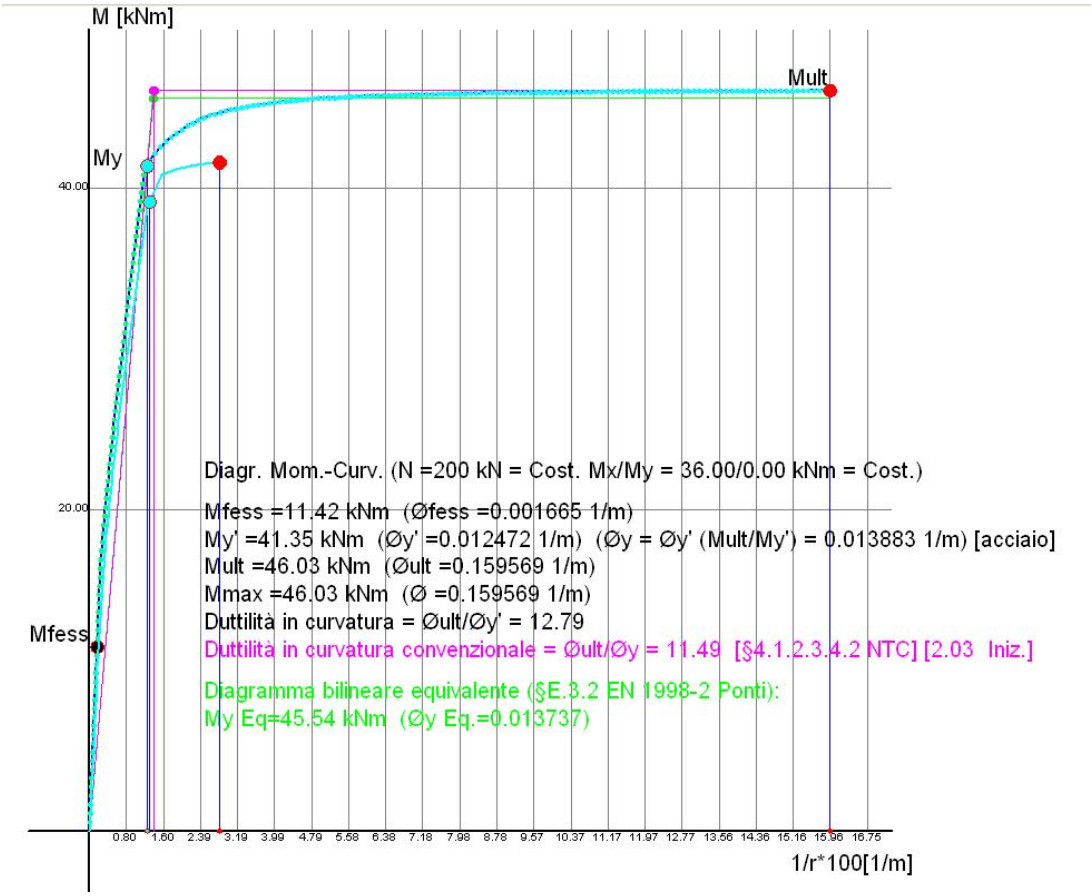
Nel pannello dei risultati a video si nota come la resistenza a flessione dopo il rinforzo è leggermente incrementata per effetto del confinamento (da 4163 a 4436). Anche la resistenza a taglio VRcd lato calcestruzzo è variata di poco (da 13092 a 13956). Quella relativa alle armature trasversali VRsd è passata da 8407 daN delle staffe iniziali a ben 17545 daN giovandosi dell'incremento di resistenza dovuto ai nastri (9138 daN). Nelle opzioni di calcolo è stato impostato il valore di 2 (<2.5) come valore massimo della cotangente dell'angolo θ di inclinazione dei puntoni.

Se il taglio di progetto VSdu fosse stato maggiore di VRcd il programma automaticamente determina il valore di θ (fino al limite minimo di ctg θ = 1) di equilibrio e, a cascata, le nuove resistenze.

© 2020 Geostru Software

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_new.sezfrp

© 2020 Geostru Software

(Percorso File: C:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\Esempio7_new.sezfrp)

Descrizione Sezione: Esempio 7 Reluis Allegato
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 - Sezione iniziale pre-rinforzo: fck110
Modulo Elastico secante Ecm: 250000 daN/cm²
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.35
Resistenza media a compressione fcm: 150.00 daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo: 111.10 daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd: 74.10 daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0: 0.0020
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu: 0.0035 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico secante Ecm: 250000 daN/cm²
Resist. confinata max (al max parabola): 103.14 daN/cm²
Resist. confinata alla deform. ultima: 103.14 daN/cm²
Deformazione confinata alla max resistenza Epc0: 0.0039
Deformazione confinata ultima Epcu: 0.0304 daN/cm²

ACCIAIO - Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo: Feb38k
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.00
Resistenza media a snervamento = fym : 4082.0 daN/cm²
Resist. media a rottura = ftm : 4694.3 daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15): 3550.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.036
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Bilineare finito

CERCHIAT. - Con angolari e bande in acciaio del tipo: Nastri
Resistenza snervamento di progetto bande fyd: 5320.0 daN/cm²
Resistenza cls. confinato fcc [(C.8A.7.6) NTC]: 141.8 daN/cm²
Deformazione ultima cls. confinato Epcu [(C.8A.7.8) NTC]: 0.0232 daN/cm²
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: fck110

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

© 2020 Geostru Software

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	

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro	15000
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo	0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo	0

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

Gli sforzi sono quelli finali comprensivi di quelli preesistenti al rinforzo.

N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata [daNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	20000	3600	0	10000	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] 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

© 2020 Geostru Software

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	20000	3600	0	19990	4436 (4163)	0 (0)	1.232

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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	0.01250	-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

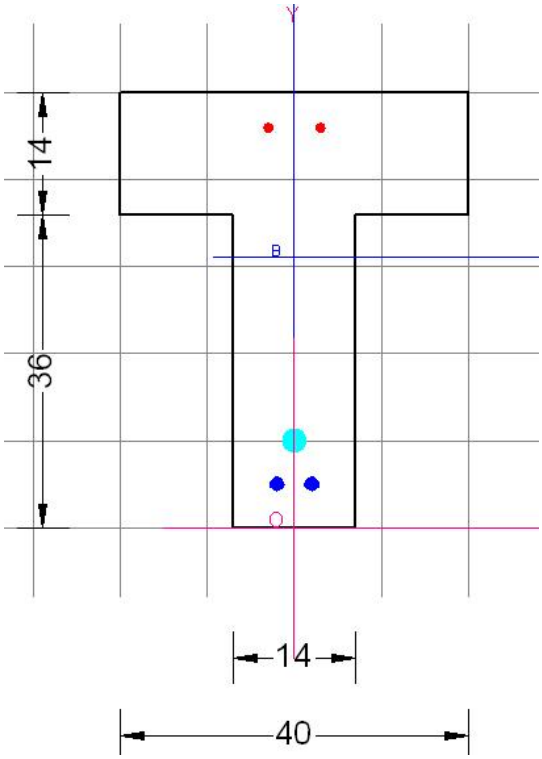
METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione rinforzata a taglio)

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
VR Bande	Taglio resistente [daN] sviluppato dalla sola cerchiatura con bande o nastri
Vrcd	Taglio resistente finale [daN] lato conglomerato compresso (4.1.19)NTC. Tra parentesi il valore della sola sezione esistente
Vrsd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe (4.1.18)NTC. + Taglio resist. cerchiatura
Vrw	Taglio resistente [daN] 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	10000	9138	13956 (13092)	17545 (8407)	25.1	30.0	2.00	1.250

© 2020 Geostru Software

11.8 Esempio 8



La sezione in figura, tratta dal volume [15 262], è precompressa con 6 trefoli (di 7 fili ciascuno) con area complessiva A_p = 6 × 0..93 = 5.58 cm² posta a cm 10 dalla fibra di intradosso. La sezione è inoltre dotata di armatura ordinaria inferiore A_s = 4 cm² (copriferro 5 cm) costituiti da 2F16. Anche se non presenti nel testo citato si sono inseriti 2F10 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 precompresse anche se non rinforzate (come in questo caso).

Dati assegnati relativi al calcestruzzo:
sono quelli nominali di un calcestruzzo di classe C50/60:
$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck}/\gamma_c = 283.3$ daN/cm²
$f_{ck} = 500$ daN/cm²

Dati nominali assegnati relativi all'acciaio di precompressione (diagramma bilatero con incrudimento):

© 2020 Geostru Software

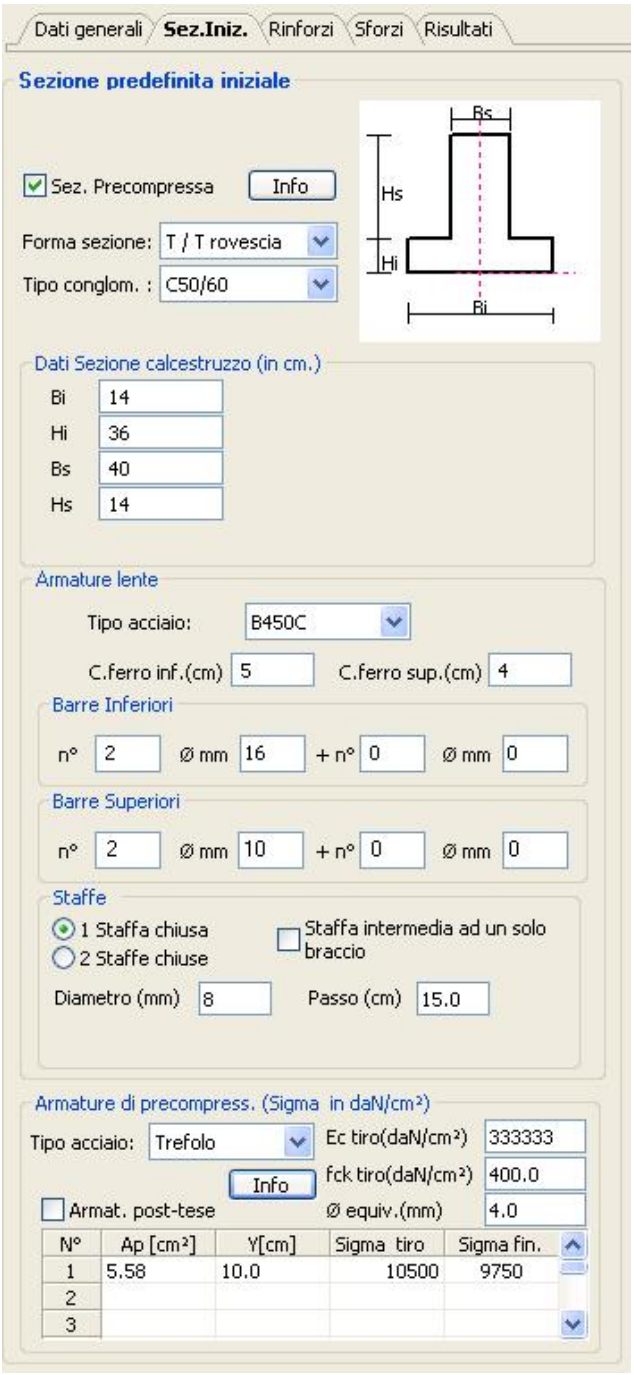
f_{pk} = 17700 daN/cm²
$f_{yk} = f_{p0.1k}$ = 0.9×17700 = 15930 daN/cm²
f_{pd} = 15930/1.15= 13850 daN/cm²
ε_{uk} = 0.0035
ε_{ud} = 0.9×0.0035= 0.00315
E_s = 1950000

Dati nominali assegnati relativi alle barre in acciaio lento tipo B450C:
f_{yk} = 4500 daN/cm²
$f_{yd} = f_{td}$= 3913 "
E_s = 2000000

Input dati generali nel programma e dati sui materiali
Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali 16:
Tipo di sezione: Predefinita (le sezioni precompresse 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

© 2020 Geostru Software



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:

Ec tiro = Modulo elastico effettivo [daN/cm²] del cls. al momento del tiro. Serve solo nella verifica al tiro. Volendo invece imporre

© 2020 Geostru Software

ad es. un coeff. di omogeneizzazione pari a n=6 basterà imporre Ec= E_{ap}/6 dove E_{ap} è il modulo elastico dell'acciaio armonico assegnato nella finestra Dati Materiali. Questo valore di Ec viene utilizzato solo nel calcolo delle tensioni al tiro (svolto dal programma col metodo n)

fck tiro = Resistenza caratteristica [daN/cm²] del calcestruzzo da precomprimere valutata nel momento delle operazioni di del tiro. Viene impiegata per valutare la tensione ammisibile al tiro secondo la (4.1.45) NTC.

Ø equiv.[mm]: diametro equivalente dell'acciaio armonico; viene utilizzato nel calcolo dell'apertura delle fessure per tener conto della effettiva efficacia delle armature precompresse pre-tese. Il § 6.8.2 dell'EC2 fonisce Øequiv.= 1.75 Øw. Per trefoli a 7 fili aventi diametro del filo pari a Øw: Øeq.= 1.2 Øw per trecce a 3 fili aventi diametro del filo pari a =Øw.

Sigma tiro [daN/cm²] = s_{pi} = 10500 daN/cm²= 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 tensine al tiro in quanto non viene effettuata la relativa verifica.

Sigma fin [daN/cm²] = 9750 daN/cm² = 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.

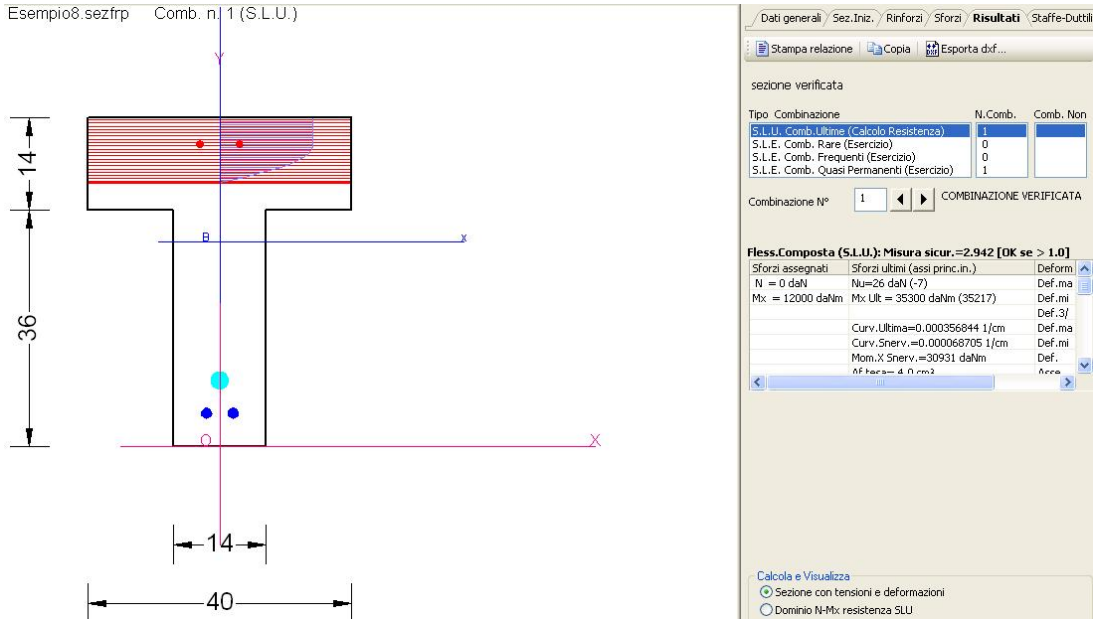
Armat. post-tese. Selezionando questa casella non vengono calcolate in automatico dal programma le perdite di tensione al tiro nelle armature aderenti per effetto della deformazione elastica del cls. al tiro. Dopo il tiro entrambi i tipi di armature sensibili sono considerate perfettamente aderenti al cls. precompresso.

Input Sforzi

© 2020 Geostru Software

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 35300 daNm molto vicino rispetto a quello (35400 daNm) indicato nel volume da cui è

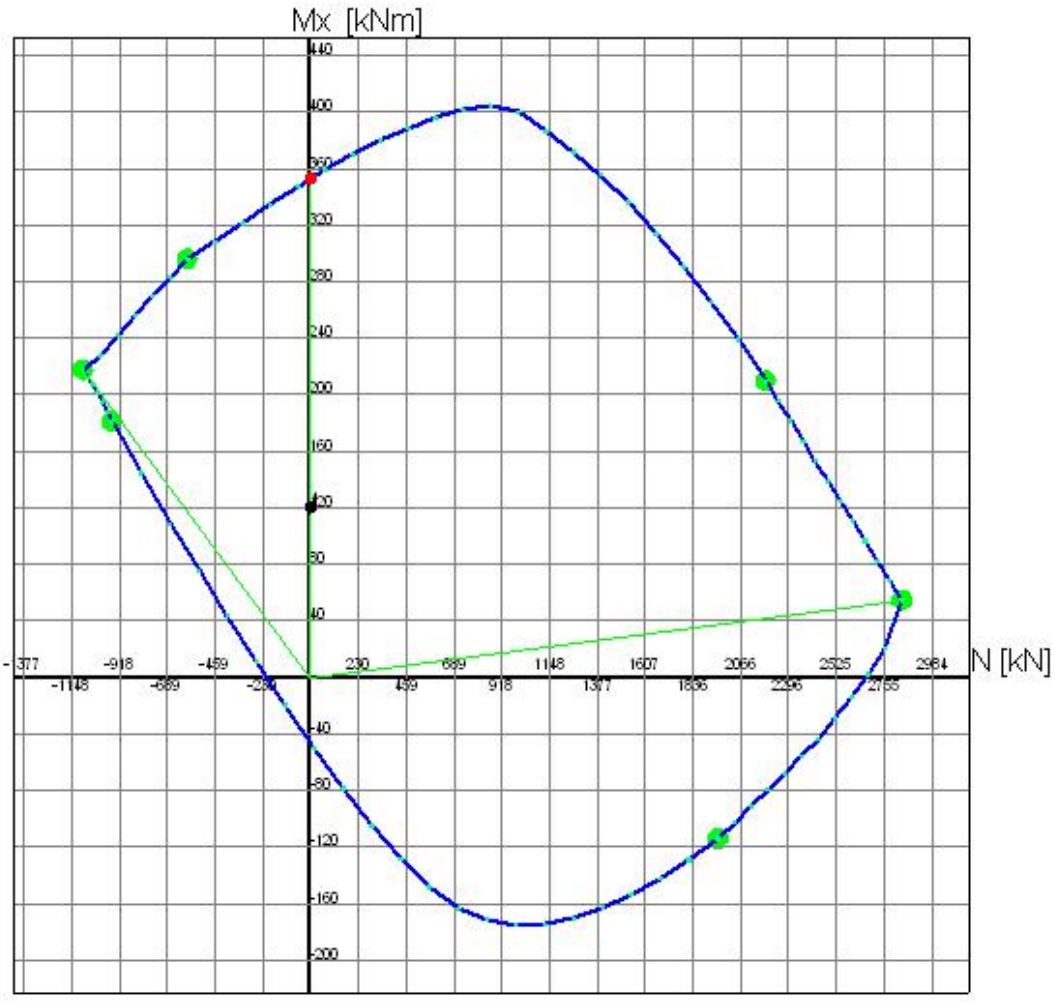
© 2020 Geostru Software

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\VB98\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: Esempio8.sezfrp

(Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\VB98\RC_SEC_FRP_NEW\ESEMPI\Esempio8.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 8 - Sezione Precompressa Non Rinforzata
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	a T o T rovescio
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante

© 2020 Geostru Software

Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona intermedia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe cls. precompresso sez. iniziale:	C50/60	
	Resistenza compress. di calcolo fcd:	283.30	daN/cm²
	Resistenza compress. caratteristica al tiro:	400.00	daN/cm²
	Tensione max compress. ammissibile al tiro:	280.00	daN/cm²
	Resistenza ridotta fcd' (ver. taglio):	141.65	daN/cm²
	Deform. unitaria alla massima resistenza:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm²
	Modulo Elastico al Tiro Ec0:	333333	daN/cm²
	Resis. media a trazione fctm:	40.70	daN/cm²
	Coeff. viscosità successivo al rinforzo (SLE):	1.80	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	daN/cm²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Perman.:	0.200	mm
ACCIAIO PREC.-	Pre-teso		
	Tipo:	Trefolo	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	17700.0	daN/cm²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	17700.0	daN/cm²
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	13850.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	15390.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.032	daN/cm²
	Modulo Elastico Es:	1950000	daN/cm²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Diametro equival.(§6.8.2 EC2):	4	mm
	Coeff. Aderenza istant. ß1*ß2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito ß1*ß2:	0.50	
ACCIAIO -	Tipo per barre sez. iniziale:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm²
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3910.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3910.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	daN/cm²
	Modulo Elastico Es:	2000000	daN/cm²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Diametro equival.(§6.8.2 EC2):	4	mm
	Coeff. Aderenza istant. ß1*ß2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito ß1*ß2:	0.50	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Base rett. inf.:	14.0	cm
Altezza rett. inf.:	36.0	cm
Base rett. sup.:	40.0	cm
Altezza rett. sup.:	14.0	cm
Barre inferiori:	2Ø16	(4.0 cm²)
Barre superiori:	2Ø10	(1.6 cm²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	4.0	cm

© 2020 Geostru Software

SFORZI PRESENTI AL TIRO INIZIALE DELLA SOLA SEZIONE PRECOMPRESSA

Sforzo normale [daN] non da precompressione applicato nel baricentro del solo cls.: 0
Momento flettente [daNm] non da precompressione (posit. se comprime le fibre sup.): 1000

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro (posit. se di compress.): 0
Momento flettente [daNm] preesistente (posit. se comprime le fibre sup.): 1000

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Coppia concentrata [daN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	0	12000	0

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricenrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0	8600

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

SEZIONE INIZIALE PRECOMPRESSA: VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI AL TIRO

(sezione verificata al tiro)

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Ec tiro	Modulo elastico assegnato al cls al tiro [daN/cm²] (n = 5.85)
Sc max	Massima tensione (+ se di compress.) nel conglom. [daN/cm²]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione (+ se di compress.) nel conglom. [daN/cm²]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (- se di trazione) nell'acciaio non precompresso[daN/cm²]
Ys min	Ordinata in cm della barra lenta corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)

Ver	Ec tiro	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min
S	333333	176.1	0.0	-30.2	50.0	-82	0.0

A ap - Y ap	Area [cm²] della fila di trefoli pretesi posti al livello 'Y ap' [cm]
S0ap	Tensioni nette al tiro assegnate all'Acciaio pre-teso in file di trefoli posti al livello 'Yf ap'
S ap	Tensioni al tiro dell'Acciaio pre-teso al netto della deformazione elastica (per singola fila di trefoli)
S1ap	Tensioni a perdite avvenute assegnate all'Acciaio pre-teso nelle singole file di trefoli di pari livello

© 2020 Geostru Software

N°	Ver	Ys ap	A ap	S0ap	S ap	S1ap
1	S	5.58	10.0	10500	9711	9750

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (escluso lo sforzo di precompressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] escluso il momento prodotto dalla precompressione
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] (escluso lo sforzo di precompressione)
M ult	Momento flettente ultimo[daNm] (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.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [daNm]

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn
1	S	0	12000	26	35300 (35217)	2.942	40.2	30931

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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.)
ep ap	Deform. unit. minima Acciaio armonico
Yp ap	Ordinata [cm] corrispondente a ep ap (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min	ep ap	Yp ap
1	0.00350	-0.00415	50.0	0.00207	46.0	-0.01256	5.0	-0.01077	10.0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. ([daN/cm²].Valore iniziale tra parentesi
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio di precompressione [daN/cm²].
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess. formule (7.11)(7.14)EC2

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	Af Eff.	D barre

© 2020 Geostru Software

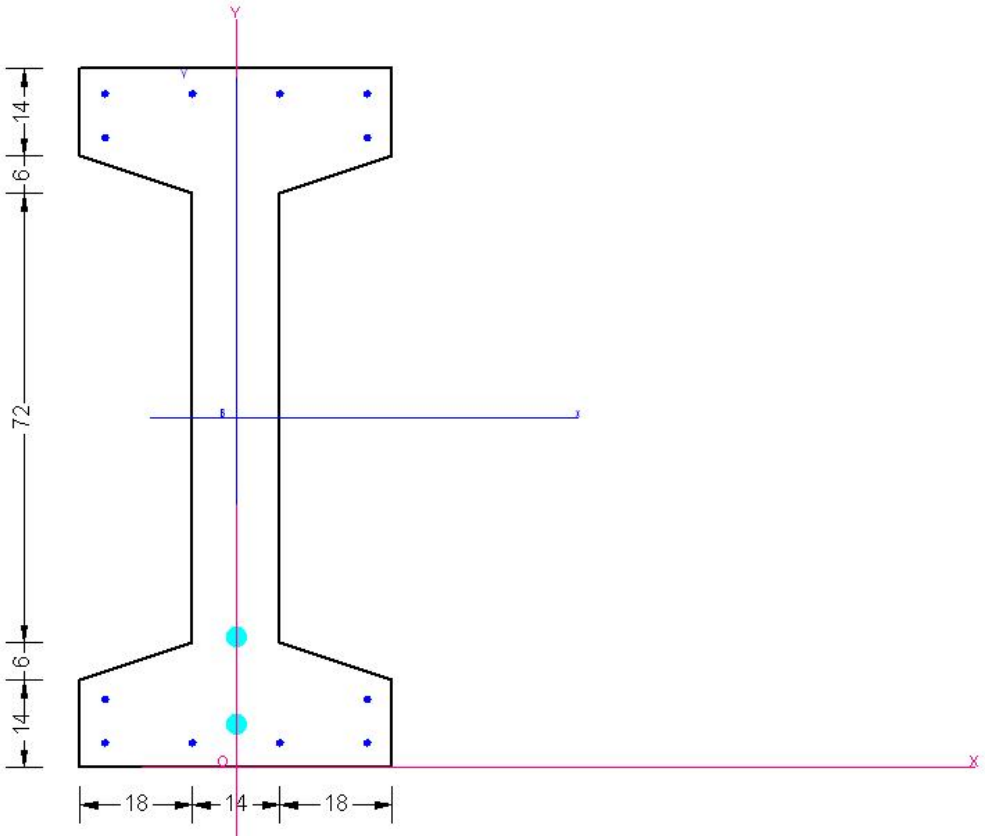
1	S	42.0(130.9)	0.0	38.5(0.0)	50.0	-10062	10.0	0.0	0	0.0
0.0										

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]
Sclmin	Minuma tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore teso efficace nello STATO I [daN/cm²]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (Sclmin + ScEff)/(2 Sclmin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm
Ap.Lim.	Apertura limite delle fessure in mm (§4.1.2.2.4.1 NTC)

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.	Ap.Lim.
1	S	42.0	38.5	0.0	0.000	0.00	0.000000	0	0.000	0.200

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 cm² posti a cm 7 e cm 21 dalla fibra di intradosso. La sezione è inoltre dotata di armatura ordinaria costituita da 12F16 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:
$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck}/\gamma_c$ = 239.1 daN/cm²
f_{ck} = 550 daN/cm²

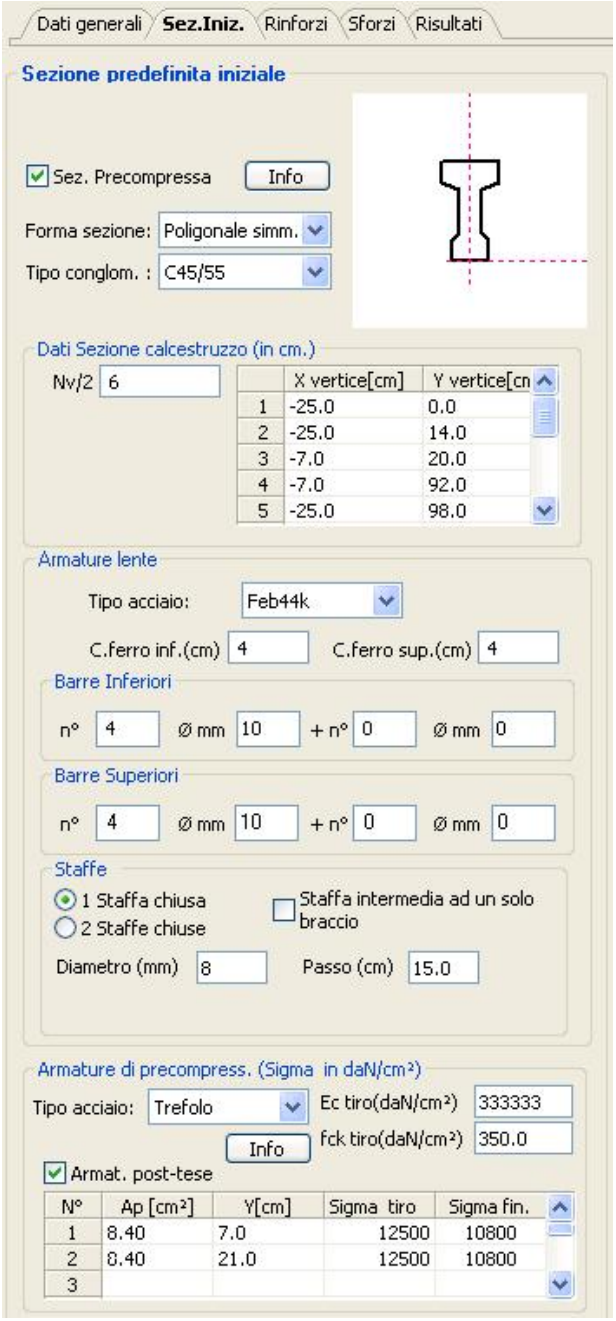
Dati nominali assegnati relativi all'acciaio di precompressione (diagramma bilatero senza incrudimento):
f_{pk} = 17700 daN/cm²
$f_{yk} = f_{p0.1k}$ = 0.9×17700 = 15930 daN/cm²
f_{pd} = 15930/1.15= 13850 daN/cm²
ε_{uk} = 0.0111
ε_{ud} = 0.9×0.0111= 0.01
E_s = 2000000

Dati nominali assegnati relativi alle barre in acciaio lento tipoFeB44k:
f_{yk} = 4300 daN/cm²
$f_{yd} = f_{td}$= 3739 "
E_s = 2000000 "

Input dati generali nel programma e dati sui materiali
Avviato il programma vanno anzitutto assegnati i seguenti dati nella scheda Dati generali 16:
Forma di sezione: Predefinita (le sezioni precompresse sono previste solo nella categoria delle sezioni predefinite in flessione retta)
Posizione sezione: sezione intermedia
Percorso di sollecitazione: N = 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.

© 2020 Geostru Software

Input dati sezione



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.

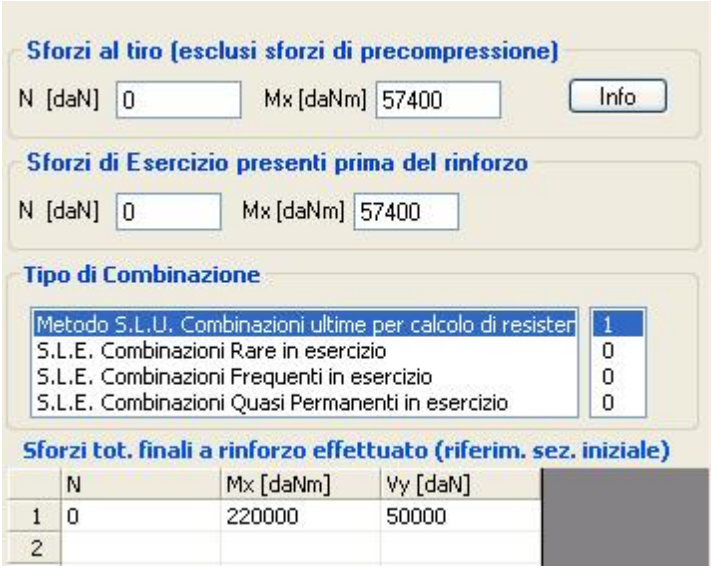
Nella sezione più bassa di questa finestra vanno assegnati i dati indispensabili per la verifica al tiro e finale della sezione precompressa:

Ec tiro = Modulo elastico effettivo [daN/cm²] del cls. al momento del tiro. Serve solo nella verifica al tiro (alle tensioni

© 2020 Geostru Software

ammissibili). Poichè l'esempio di VcaSlu indica, invece, il coeff. n=6 di omogeneizzazione tra cls. e acciaio precompresso, si ricava Ec= E_{ap}/6 = 2000000/6 = 133333 dove E_{ap} è il modulo elastico dell'acciaio armonico assegnato nella finestra Dati Materiali. Questo valore di Ec viene utilizzato solo nel calcolo delle tensioni al tiro (svolto dal programma col metodo n)
fck tiro = Resistenza caratteristica [daN/cm²] del calcestruzzo da precomprimere valutata nel momento delle operazioni di del tiro. Viene impiegata per valutare la tensione ammisibile al tiro secondo la (4.1.45) NTC, cioè pari a 0.7*fck.
Sigma tiro [daN/cm²] = s_{pi} = 12500 daN/cm²= tensione al tiro dell'acciaio aderente. Deve rispettare i limiti della (4.1.47) NTC.
Sigma fin [daN/cm²] = 10800 daN/cm² = 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



Vanno assegnati gli sforzi al tiro (di solito dovuti al solo peso proprio della trave), quelli presenti prima del rinforzo (non

© 2020 Geostru Software

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 103 daN/cm² coincide con quella dell'esempio di VcaSlu. Il momento resistente ultimo è pari a 224329 daNm è vicinissimo a quello (2242 kNm) di VcaSlu.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A. DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Esempio9.sezfrp

(Percorso File: C:\Programmi\Microsoft Visual Studio\VB98\RC_SEC_FRP_NEW_old\PROVE_NEW\Esempio9.sezfrp)

Descrizione Sezione:	Esempio 9 - Sezione precompressa rinforzata con CFRP
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Poligonale Simmetrica
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia sezione iniziale
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona nodale (di estremità)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe cls. precompresso sez. iniziale:	C45/55	
	Resistenza compress. di calcolo fcd:	239.10	daN/cm²
	Resistenza compress. caratteristica al tiro:	350.00	daN/cm²
	Tensione max compress. ammissibile al tiro:	245.00	daN/cm²
	Resistenza ridotta fcd' (ver. taglio):	119.55	daN/cm²
	Deform. unitaria alla massima resistenza:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Legge tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm²
	Modulo Elastico al Tiro Ec0:	333333	daN/cm²
	Resis. media a trazione fctm:	38.00	daN/cm²
ACCIAIO PREC.-	Post-teso		
	Tipo:	Trefolo	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	16200.0	daN/cm²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	16200.0	daN/cm²
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	14090.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	14090.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.010	daN/cm²
	Modulo Elastico Es:	2000000	daN/cm²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
ACCIAIO -	Tipo per barre sez. iniziale:	Feb44k	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4300.0	daN/cm²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4300.0	daN/cm²

© 2020 Geostru Software

	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3739.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3739.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.010	daN/cm²
	Modulo Elastico Es:	2000000	daN/cm²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
ACCIAIO -	Tipo per barre aggiunte:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm²
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm²
	Resist. a snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm²
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	daN/cm²
	Modulo Elastico Es:	2000000	daN/cm²
	Legge tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE INIZIALE

Coordinate vertici sezione poligonale simmetrica:

N°vertice	X [cm]	Y [cm]
1	-25.0	0.0
2	-25.0	14.0
3	-7.0	20.0
4	-7.0	92.0
5	-25.0	98.0
6	-25.0	112.0
7	25.0	112.0
8	25.0	98.0
9	7.0	92.0
10	7.0	20.0
11	25.0	14.0
12	25.0	0.0

Barre ordinarie:

Barre inferiori:	4Ø10	(3.1 cm²)
Barre superiori:	4Ø10	(3.1 cm²)
Coprif.Inferiore:	4.0 cm	
Coprif.Superiore:	4.0 cm	

Armature di precompressione:

As [cm²]	Y [cm]	S tiro [daN/cm²]	S fin[da/cm²]
8.40	7.0	12500.0	10800.0
8.40	21.0	12500.0	10800.0

Staffe:

Diametro Staffe:	8	mm
Passo Staffe:	15	cm
N. Bracci Staffa:	2	

DATI BARRE DI RINFORZO

N° Barre	Diam [mm]	Y [cm]
2	10	11.0

© 2020 Geostru Software

2	10	101.0

SFORZI PRESENTI AL TIRO INIZIALE DELLA SOLA SEZIONE PRECOMPRESSA

Sforzo normale [daN] non da precompressione applicato nel baricentro del solo cls.: 0
Momento flettente [daNm] non da precompressione (posit. se comprime le fibre sup.): 57400

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro (posit. se di compress.): 0
Momento flettente [daNm] preesistente (posit. se comprime le fibre sup.): 57400

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Coppia concentrata [daN m] applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	0	220000	50000

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

SEZIONE INIZIALE PRECOMPRESSA: VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI AL TIRO

(sezione verificata al tiro)

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Ec tiro	Modulo elastico assegnato al cls al tiro [daN/cm²] (n = 6.00)
Sc max	Massima tensione (+ se di compress.) nel conglom. [daN/cm²]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione (+ se di compress.) nel conglom. [daN/cm²]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (- se di trazione) nell'acciaio non precompresso[daN/cm²]
Ys min	Ordinata in cm della barra lenta corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)

Ver	Ec tiro	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min
S	333333	103.2	0.0	37.5	112.0	239	0.0

A ap - Y ap	Area del cavo da post tendere posto al livello 'Y ap'
S0ap	Tensioni nette al tiro assegnate ai singoli cavi di Acciaio da post tendere
S1ap	Tensioni a perdite avvenute assegnate all'Acciaio nei singoli cavi di Acciaio da post tendere

N°	Ys ap	A ap	S0ap	S1ap
1	8.40	7.0	12500	10800
2	8.40	21.0	12500	10800

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI FLESSIONE COMPOSTA

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] (escluso lo sforzo di precompressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] escluso il momento prodotto dalla precompressione

© 2020 Geostru Software

N ult	Sforzo normale ultimo [daN] (escluso lo sforzo di precompressione)
M ult	Momento flettente ultimo[daNm] (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.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [daNm]

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	M ult	Mis.Sic.	Yn	M sn
1	S	0	220000	-29	224329 (224575)	1.020		78.5213988

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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.)
ep ap	Deform. unit. minima Acciaio armonico
Yp ap	Ordinata [cm] corrispondente a ep ap (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min	ep ap	Yp ap
1	0.00350	-0.00152	112.0	0.00308	108.0	-0.00780	4.0	-0.00748	7.0

STAFFE AGGIUNTE (staffe iniziali tra parentesi) PER ARMATURA A TAGLIO

Diametro staffe:	0(8) mm	
N.Bracci staffe:	0(2)	
Passo staffe:	0.0(15.0)	cm
Passo staffe ris.:	15.0cm	[Passo massimo di normativa = 33.0 cm]
Area staffe ris./m :	6.7 cm²/m	[Area Staffe Minima NTC = 2.1 cm²/m]

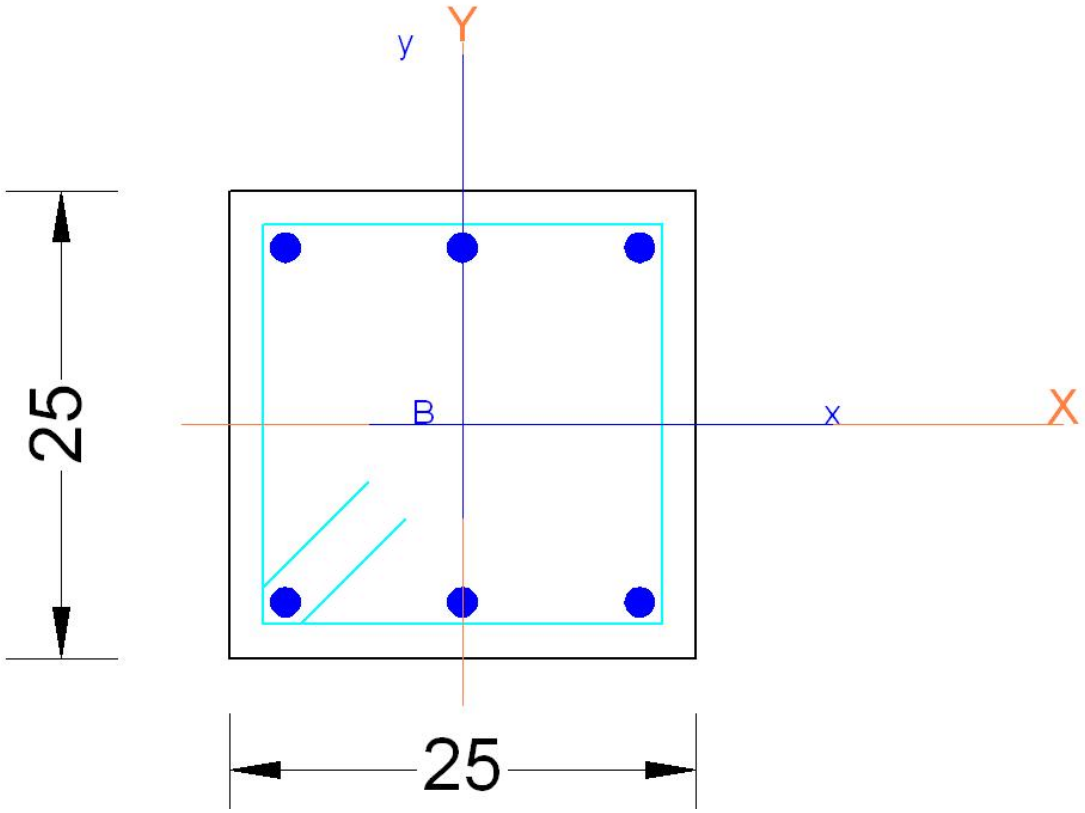
METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO (Sezione non rinforzata a taglio)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrcd	Taglio resistente [daN] lato calcestruzzo.
Vrsd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe presenti nella sezione esistente [(4.1.18)NTC]
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	Vrcd	Vrsd	bw	Ctg	Alfa c
1	S	50000	70123	54804 (54804)	14.0	2.50	1.250

© 2020 Geostru Software

11.10 Esempio10



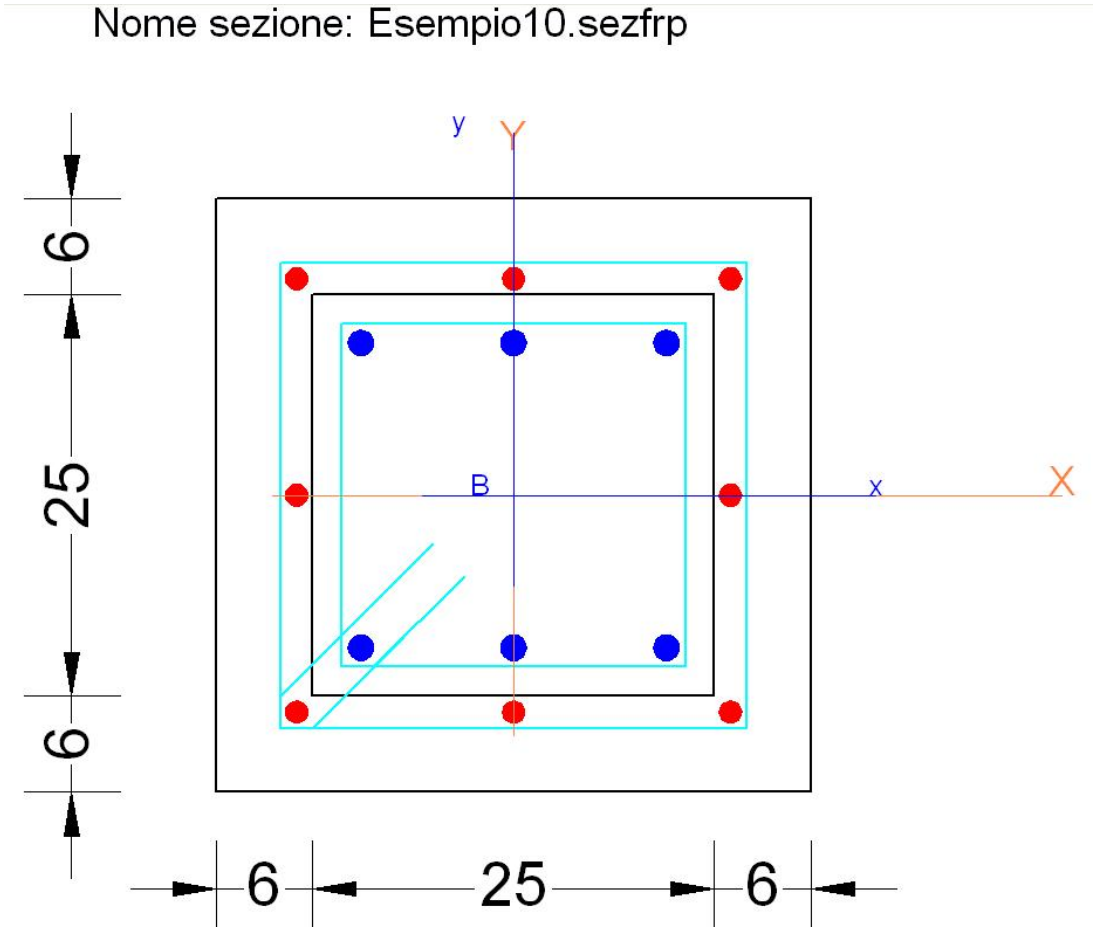
E' lo stesso pilastro esistente armato con 6Φ16 da rinforzare a solo sforzo normale già trattato nell'Esempio 2 mediante fasciatura con CFRP. Qui si vuole rinforzare il pilastro con una camicia in ca senza che le barre longitudinali della camicia si ancorino nei nodi (cioè la camicia in ca e le barre 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} = 105000 daN.

In assenza di confinamento l'applicazione della C4.1.13 NTC per pilasti con trascurabile eccentricità porterebbe ad una resistenza $N_{Rc} = 0,8\ A_c\ f_{cd} + A_s\ f_{yd} = 0,8 \cdot 625 \cdot 85 + 12 \cdot 2739 = 75370$ daN rispetto a quella richiesta di 105000 daN. 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

© 2020 Geostru Software

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 Fc fattore di conoscenza, trattandosi di comportamento duttile del materiale in presenza di confinamento.

RINFORZO CA



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

© 2020 Geostru Software

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= 96000 daN e Mx = 96000x0.02 = 1920 daNm.
Detto valore risulta ben superiore a quello in assenza di rinforzo (75730) 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 133.2 daN/cm².
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:\L\SORGENTI2017\RC-SEC-FRP-2017\ESEMPI\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)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Sezione iniziale pre-rinforzo: fck150
Modulo Elastico secante Ecm: 258926 daN/cm²
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.35
Resistenza media a compressione fcm: 172.13 daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo: 150.00 daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd: 85.00 daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0: 0.0020
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu: 0.0035 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo

© 2020 Geostru Software

Modulo Elastico secante Ecm: 258926 daN/cm²
Resist. confinata max (al max parabola): 133.24 daN/cm²
Resist. confinata alla deform. ultima: 133.24 daN/cm²
Deformazione confinata alla max resistenza Epc0: 0.0049
Deformazione confinata ultima Epcu: 0.0389 daN/cm²

CALCESTRUZZO - Classe cls. camicia: fck150
Spessore camicia c.a.: 6.0 cm
Modulo Elastico secante Ecm: 258926 daN/cm²
Resistenza media a compressione fcm: 172.13 daN/cm²
Resistenza caratteristica del calcestruzzo: 150.00 daN/cm²
Resistenza di progetto (senza confinam.) fcd: 85.00 daN/cm²
Deform. unitaria alla max resistenza (senza confinam.) epc0: 0.0020
Deform. unitaria ultima (senza confinam.) epcu: 0.0035 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico secante Ecm: 258926 daN/cm²

ACCIAIO - Barre Sez. Iniziale pre-rinforzo Tipo: Feb32k
Fattore di Confidenza FC assunto: 1.00
Resistenza media a snervamento = fym : 3150.0 daN/cm²
Resist. media a rottura = ftm : 3622.5 daN/cm²
Resist. a snervamento di progetto fyd=fym/(FC*1.15): 2739.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.036
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: Bilineare finito

ACCIAIO - Barre di rinforzo Tipo: B450C
Resistenza media a snervamento fym (per duttilità): 5175.0 daN/cm²
Resistenza media a rottura ftm (per duttilità): 5951.3 daN/cm²
Resistenza caratteristica a snervamento fyk: 4500.0 daN/cm²
Resistenza a snervamento di progetto fyd: 3913.0 daN/cm²
Resistenza a rottura di progetto ftd: 3913.0 daN/cm²
Rapporti: ftm/fym = ftk/fyk : 1.15
Deform. unitaria ultima di progetto Epu: 0.068
Modulo Elastico Es 2000000 daN/cm²
Legge tensione-deformaz.: 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

© 2020 Geostru Software

3	9.5	9.5	16
4	9.5	-9.5	16
5	0.0	-9.5	16
6	0.0	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]
1	-13.5	-13.5	14.0
2	-13.5	13.5	14.0
3	13.5	13.5	14.0
4	13.5	-13.5	14.0
5	-13.5	0.0	14.0
6	13.5	0.0	14.0
7	0.0	-13.5	14.0
8	0.0	13.5	14.0

SFORZI DI ESERCIZIO PRESENTI ALL'ATTO DEL RINFORZO

Sforzo normale [daN] preesistente applicato nel baricentro	78000
Momento flettente Mx [daNm] preesistente al rinforzo	0
Momento flettente My [daNm] preesistente al rinforzo	0

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

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	96000	1920	0	0	0

RISULTATI DEL CALCOLO

© 2020 Geostru Software

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] rif. asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mx ult. sez. iniz.)
My ult Momento flettente ultimo [daNm] 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	96000	1920	0	97284 (86168)	1946 (0)	0 (0)	1.013

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - 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	0.03991	-13.5	13.5	-0.00690	-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	0.001733891	0.017230349

© 2020 Geostru Software

12 Bibliografia

[1] D.Min Infrastrutture 17 Gennaio 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (NTC).

[2] Circolare Min.Infr. e Trasp. **** 2018, n. *** : 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.

© 2020 Geostru Software

[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

13 Contatti

GeoStru Software

www.geostru.eu

© 2020 Geostru Software