

Il programma RC_NL è nato con l'obiettivo di costruire automaticamente legami momento-curvatura per sezioni in c.a., nonché esaminare il comportamento di una intera asta. Il modello di calcolo è un cosiddetto “modello a fibre” o, più propriamente “modello a strisce” perché la sezione in calcestruzzo viene divisa in strisce parallele all'asse neutro (che, in quanto tali, sono costituite da punti aventi uguale deformazione e tensione). Le armature sono considerate puntiformi.

Evoluzione del programma

Una versione preliminare, cui non era stato assegnato nome, è stata preparata nel 2008 da Aurelio Gherzi, Melina Bosco e Tania Di Franco, per la tesi di laurea di quest'ultima.

La versione 1 è stata sviluppata nel 2012 da Aurelio Gherzi e Marta Del Zoppo, per la tesi di laurea di quest'ultima.

La versione 2 è stata sviluppata a partire dal novembre 2013. Aurelio Gherzi ha curato in maniera particolare l'input interattivo, la gestione dati e strutture dati e l'output della parte relativa alla sezione. In collaborazione con Marta Del Zoppo sta evolvendo la parte relativa a domini ed aste, per adesso non attivata nella versione diffusa pubblicamente. Contemporaneamente con Edoardo Marino, Melina Bosco e Marina Genovese i risultati ottenuti col programma sono stati confrontati con valori forniti da prove sperimentali.

La parte relativa alla sezione viene resa pubblica con questa versione, mentre il resto è tuttora oggetto di una intensa attività di studio e ricerca.

Modalità di utilizzazione del programma

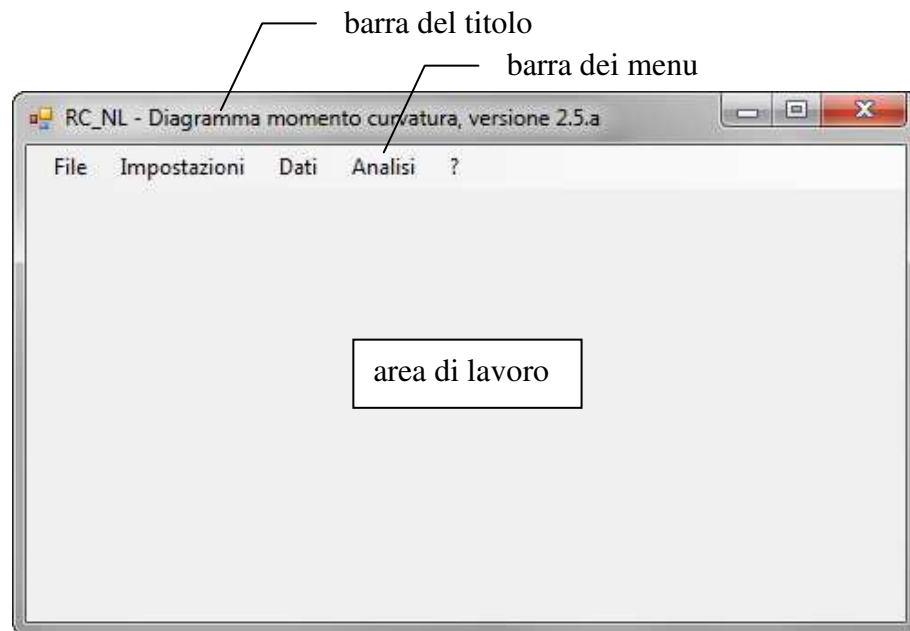
I dati che descrivono geometria della sezione e materiali possono essere forniti in maniera interattiva, ma è sempre possibile salvare i dati in un file e caricare i dati da un file.

I risultati, diagrammi momento-curvatura della sezione, vengono visualizzati sullo schermo e possono essere salvati in file di testo, per eventuali usi successivi. Sono previste due modalità di salvataggio risultati: una che salva anche i dati; un'altra che salva solo i risultati, incolonnati in modo da poter essere facilmente letti con Excel.

Nel seguito vengono mostrate prima le schermate interattive e poi viene indicato il modo in cui i dati e i risultati vengono salvati su file.

Interfaccia grafica del programma RC_NL

La finestra del programma RC_NL contiene, come tutti i programmi che girano sotto Windows, una barra del titolo, una barra dei menu ed un'area di lavoro



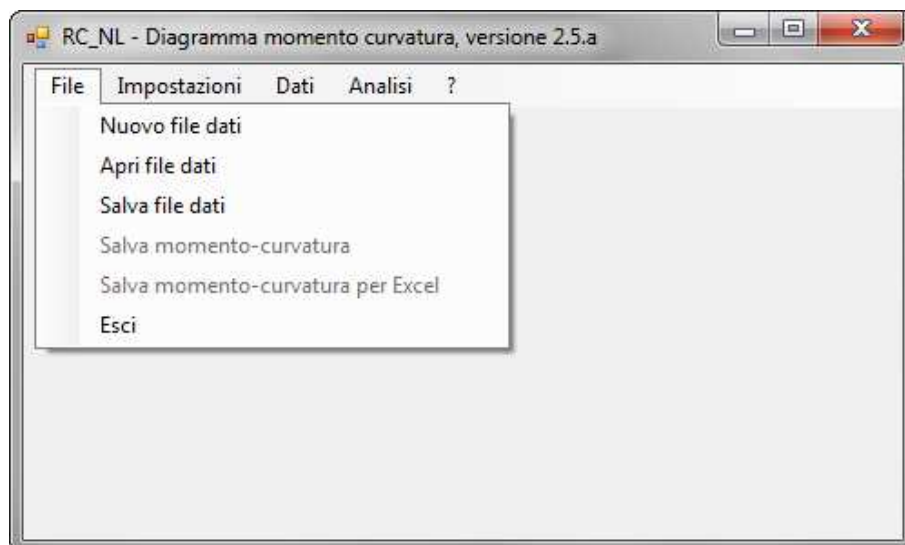
Barra dei menu

La barra dei menu, che consente di selezionare tutti i comandi e le operazioni del programma RC_NL, ha 5 menu: File, Impostazioni, Dati, Analisi, ? (cioè Informazioni). Cliccando su ogni menu si apre una tendina e vengono mostrati i comandi attivi (in nero) ed i comandi che al momento non possono essere usati (in grigio). Una freccia che segue una voce del menu indica la presenza di un sotto menu; un segno di spuntatura (\checkmark) indica una opzione attiva o una selezione effettuata.

Il menu File

I comandi del menu File gestiscono:

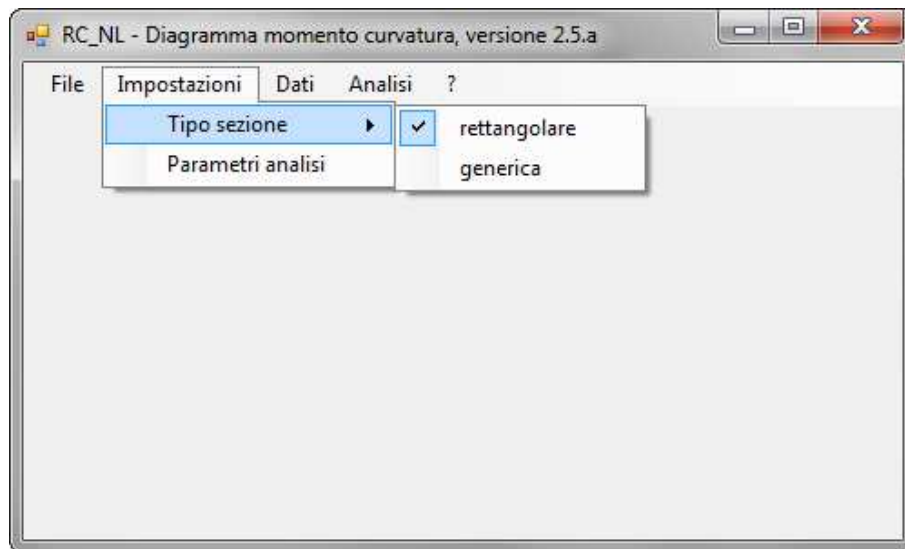
- Nuovo file dati l'azzeramento dei dati immessi, per preparare un nuovo insieme di dati;



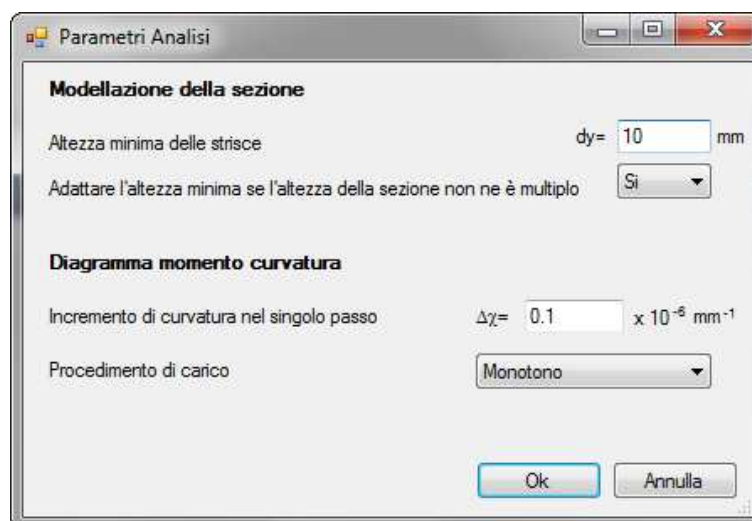
- Apri file dati l'apertura e lettura di un file dati; i dati letti sono disponibili per modifiche o per l'esecuzione del programma;
- Salva file dati il salvataggio dei dati in un file; i dati così salvati potranno essere riutilizzati in seguito;
- Salva momento-curvatura il salvataggio dei risultati ottenuti (diagramma momento curvatura) sia in una versione che include dati e scritte che in una versione (detta "per Excel") che ha solo una tabella di numeri;
- Esci uscita e chiusura del programma.

Il menu Impostazioni

I comandi del menu Impostazioni consentono di gestire le varie possibilità offerte dal programma.



- Tipo sezione consente di scegliere tra sezione rettangolare e sezione generica; la sezione rettangolare è definita da base e altezza e le armature occupano posizioni predefinite; la sezione generica è definita mediante i vertici del contorno e le armature possono essere in posizioni qualsiasi;
- Parametri analisi consente di definire alcuni parametri usati nell'analisi.



Innanzitutto, si può definire l'altezza minima delle strisce e se mantenere fisso tale valore oppure adattare l'altezza minima in modo da avere strisce di uguale

spessore. Si consiglia di scegliere uno spessore non eccessivamente grande, possibilmente un sottomultiplo del copriferro (il valore di default, 10 mm, può essere sufficiente per le usuali applicazioni).

In secondo luogo, si può indicare l'incremento di curvatura da utilizzare nel singolo passo. Si consiglia un valore adeguatamente piccolo, come quello indicato ($0.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$) ma comunque commisurato al valore massimo della curvatura cui si giungerà.

Diagramma momento curvatura

Incremento di curvatura nel singolo passo $\Delta\chi = 0.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

Procedimento di carico Carico-scarico

Valore della curvatura a cui scaricare $\chi = \text{ } \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

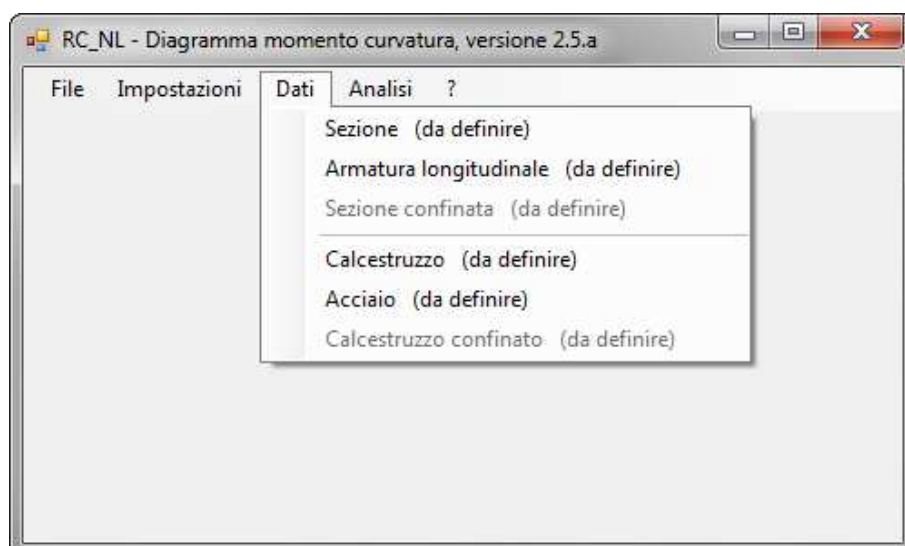
Diagramma momento curvatura

Incremento di curvatura nel singolo passo $\Delta\chi = 0.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

Procedimento di carico Ciclo incrementale

Passo del ciclo di carico-scarico (come curvatura) $\Delta\chi = \text{ } \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$

Si può infine indicare se determinare solo un diagramma a carico crescente (monotono) oppure eseguire anche uno scarico (indicando, in questo caso, il valore della curvatura a cui scaricare) o, infine, eseguire un ciclo incrementale di carico-scarico (indicando in questo caso il passo di incremento del ciclo).



Il menu Dati

I comandi del menu Dati consentono di descrivere la sezione, con le relative armature, ed i materiali che la costituiscono. I menu relativi a dati non ancora forniti comprendono la scritta (da definire). Il menu Sezione confinata è attivo solo se è stata definita la sezione. Il menu Calcestruzzo confinato è attivo solo se è stata definita il calcestruzzo base.

– Sezione

consente di definire la sezione di calcestruzzo. Le schermate sono diverse a seconda che si tratti di sezione rettangolare o sezione generica. Per quest'ultima si devono fornire le coordinate dei vertici rispetto ad un sistema di riferimento che abbia l'asse x orizzontale e orientato verso sinistra, l'asse y verticale e orientato verso il basso. Si noti, nel caso di sezione generica, la presenza del tasto Mostra sezione che consente di visualizzare la sezione assegnata, per controllare eventuali errori nei dati immessi.

Nota: quando viene modificata la sezione, se si è richiesto di calcolare automaticamente i rapporti di staffe (che dipendono dall'area confinata e quindi dalla sezione) ed i parametri relativi al calcestruzzo confinato, questi vengono aggiornati automaticamente.

Sezione rettangolare

Base della sezione $b =$ cm

Altezza della sezione $h =$ cm

Ok Annulla

Sezione generica

Numero di vertici (almeno 3)

Coordinate dei vertici i vertici devono essere numerati percorrendo il contorno in verso antiorario

vertice	x (cm)	y (cm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0

Ok Mostra sezione Annulla

– Armatura longitudinale

consente di definire l'armatura disposta nella sezione. Le schermate sono diverse a seconda che si tratti di sezione rettangolare o sezione generica. Per quest'ultima si devono fornire le coordinate delle singole barre rispetto allo stesso sistema di riferimento usato per descrivere la sezione (con asse x orizzontale e orientato verso sinistra, asse y verticale e orientato verso il basso).

Armature sezione rettangolare

Armatura bordo superiore

diametro barre spigolo mm

numero altre barre

diametro altre barre mm

Armatura di parete (un lato)

numero altre barre

diametro altre barre mm

Armatura bordo inferiore

diametro barre spigolo mm

numero altre barre

diametro altre barre mm

Ok Annulla

Armature per sezione generica

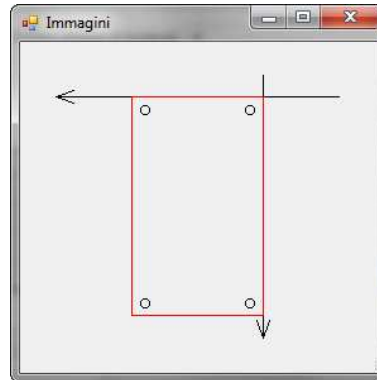
Numero di barre di armatura

Coordinate ed area della barra di armatura

barra	x (cm)	y (cm)	Area (cm ²)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

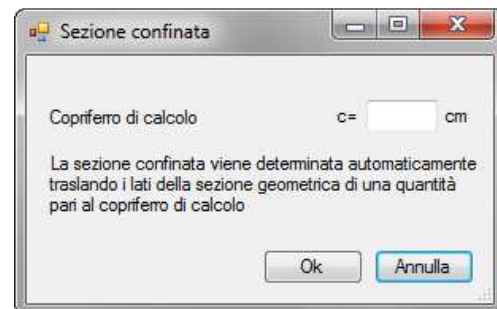
Ok Mostra sezione Annulla

Si noti, nel caso di sezione generica, la presenza del tasto Mostra sezione che consente di visualizzare la sezione assegnata e la posizione delle barre, per controllare eventuali errori nei dati immessi.

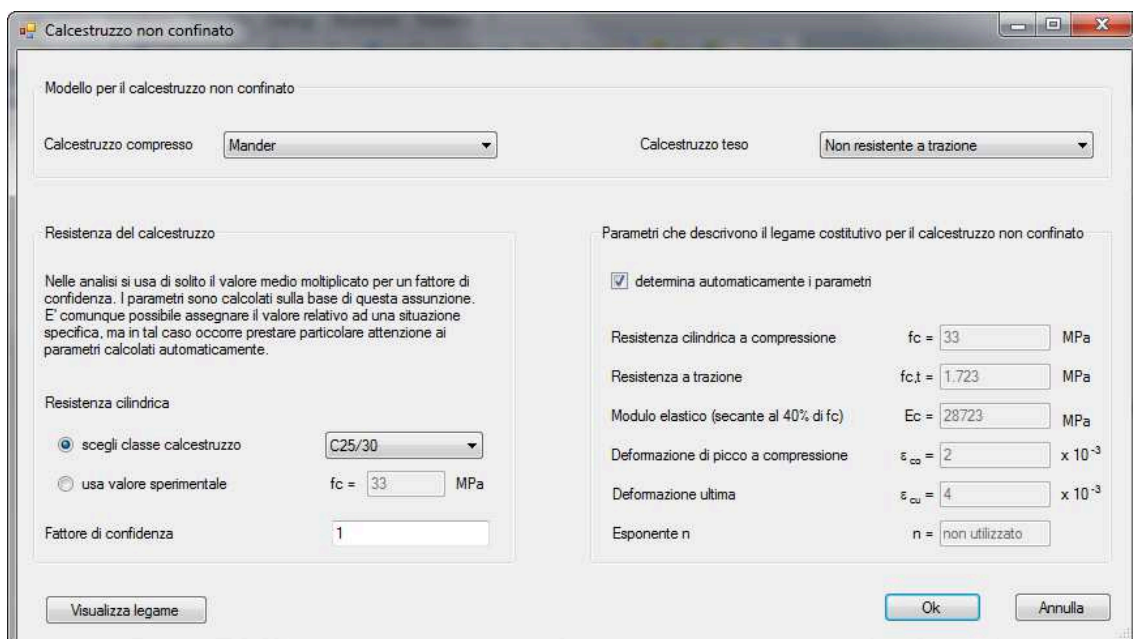


- Sezione confinata consente di assegnare il copriferro di calcolo per definire la sezione confinata. La sezione confinata viene determinata automaticamente trasladando i lati della sezione geometrica di una quantità pari al copriferro di calcolo.

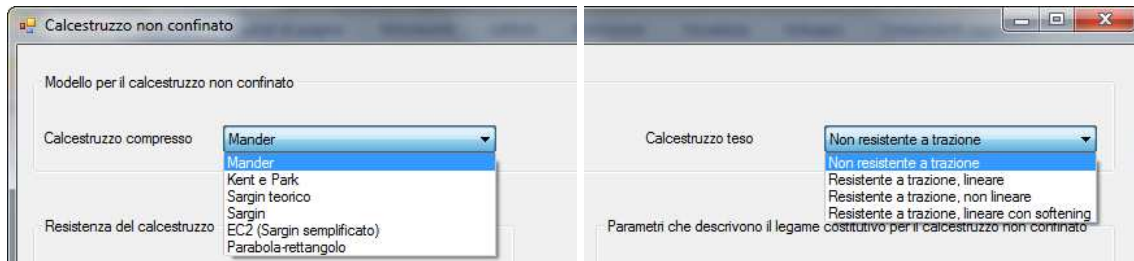
Nota: quando viene modificato il copriferro di calcolo il programma segnala la necessità di ricontrollare il rapporto volumetrico delle staffe, che dipende dall'area confinata. Se si è richiesto di calcolare automaticamente i rapporti di staffe ed i parametri relativi al calcestruzzo confinato, questi vengono aggiornati automaticamente.



- Calcestruzzo non confinato consente di assegnare i dati relativi al calcestruzzo.



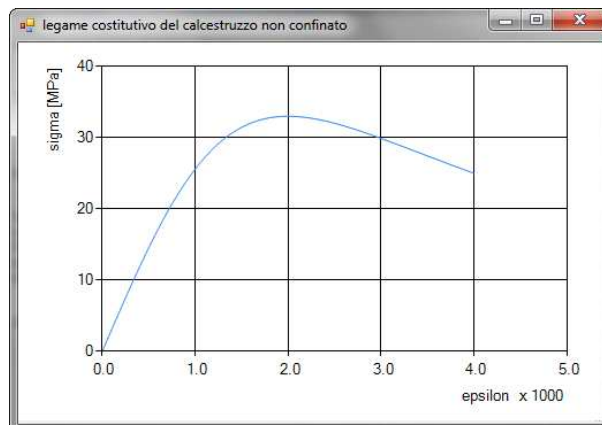
Occorre innanzitutto definire il modello da usare per il calcestruzzo compresso e per il calcestruzzo teso, selezionandoli tra le alternative previste nel menu a discesa.



Occorre poi definire la resistenza cilindrica del calcestruzzo. Questa può essere data scegliendo una classe di calcestruzzo (alla quale corrisponde automaticamente un valore medio) oppure assegnando un valore medio sperimentale. Al valore scelto o indicato può essere applicato un coefficiente riduttivo (fattore di confidenza).

Occorre infine definire una serie di parametri, che possono essere diversi a seconda del modello prescelto. I parametri possono essere determinati automaticamente dal programma (selezionando determina automaticamente i parametri) oppure assegnati dall'utente.

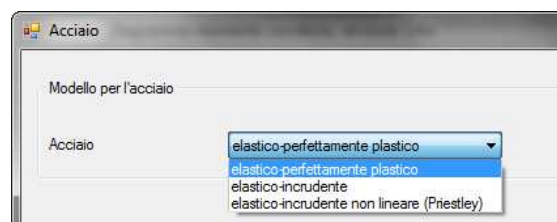
Si noti la presenza del tasto Visualizza legame che consente di visualizzare il legame costitutivo corrispondente ai dati forniti (nota: viene visualizzato solo quello relativo al calcestruzzo compresso).



— Acciaio

consente di assegnare i dati relativi all'acciaio.

Occorre innanzitutto definire il modello da usare per l'acciaio, selezionandolo tra le alternative previste nel menu a discesa.



Occorre poi definire la resistenza dell'acciaio. Questa può essere data scegliendo una classe di acciaio (alla quale corrisponde automaticamente un valore medio) oppure assegnando un valore medio sperimentale. Al valore scelto o indicato può essere applicato un coefficiente riduttivo (fattore di confidenza). Occorre infine definire una serie di parametri, che possono essere diversi a seconda del modello prescelto. I parametri possono essere determinati automaticamente dal programma (selezionando determina automaticamente i parametri) oppure assegnati dall'utente.

- Calcestruzzo confinato consente di assegnare i dati relativi al confinamento ed al calcestruzzo confinato.

Occorre innanzitutto definire i dati relativi alle staffe. Da questi il programma può calcolare automaticamente il rapporto volumetrico ρ di staffe ed il rapporto meccanico $\alpha \omega_{st}$ (selezionando determina automaticamente i rapporti volumetrico e meccanico). In alternativa, questi due parametri possono anche essere assegnati esplicitamente dall'utente.

Occorre infine definire una serie di parametri, che possono essere diversi a seconda del modello prescelto. I parametri possono essere determinati automaticamente dal programma (selezionando determina automaticamente i parametri) oppure assegnati dall'utente.

Si noti la presenza del tasto Visualizza legame che consente di visualizzare il legame costitutivo corrispondente ai dati forniti, sia per il calcestruzzo non confinato che per quello confinato (nota: viene visualizzato solo quello relativo al calcestruzzo compresso).

Confinamento e calcestruzzo confinato

Modello per il calcestruzzo confinato - uguale a quello per il calcestruzzo non confinato

Calcestruzzo compresso: EC2 (Sargin semplificato) Calcestruzzo teso: Non resistente a trazione

Dati relativi alle staffe

Diametro delle staffe: $\phi = 8$ mm

Lunghezza totale staffe (incluso eventuali tirantini): $L_o = 150$ cm

Passo tra le staffe: $s = 15$ cm

Deformazione ultima delle staffe: $\epsilon_{su} =$ non utilizzato $\times 10^{-3}$

Efficacia del confinamento: $\alpha = 0$

Parametri che descrivono il legame costitutivo per il calcestruzzo confinato

☒ determina automaticamente i rapporti volumetrico e meccanico

$\rho = 0.008727$ $\alpha \alpha_{st} = 0$

☒ determina automaticamente i parametri

Resistenza cilindrica: $f_c = 10$ MPa

Deformazione di picco a compressione: $\epsilon_{co} = 1.429$ $\times 10^{-3}$

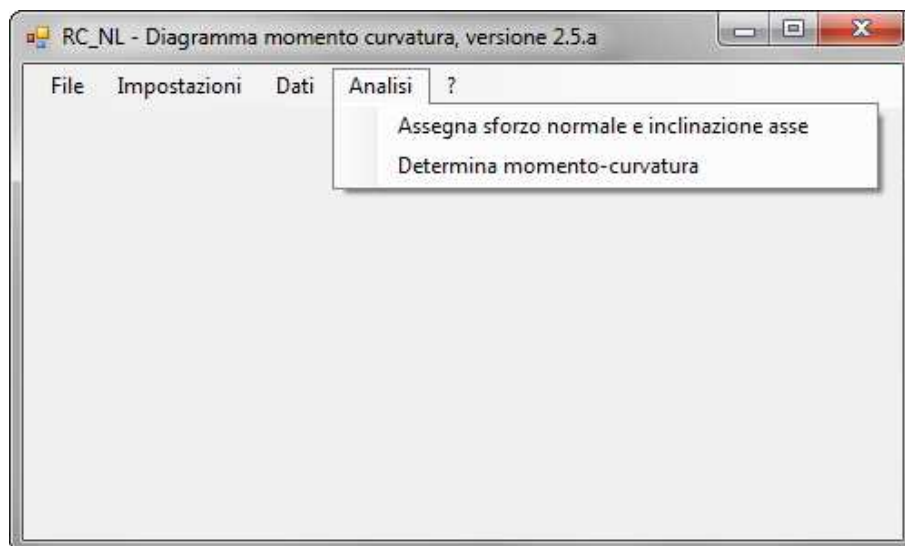
Deformazione ultima: $\epsilon_{cu} = 3.5$ $\times 10^{-3}$

Deformazione 50h (Kent, Park): $\epsilon_{50h} =$ non utilizzato $\times 10^{-3}$

Esponente n (parabola-rettangolo): $n =$ non utilizzato

Visualizza legame Ok Annulla

Il menu Analisi



I comandi del menu Analisi gestiscono:

- Assegna sforzo normale e inclinazione asse il dominio è determinato per un assegnato valore dello sforzo normale e della inclinazione dell'asse neutro o di sollecitazione. La schermata consente di assegnare N (positivo se trazione), indicare se deve essere mantenuta costante l'inclinazione dell'asse neutro o dell'asse di sollecitazione e quale deve essere questa inclinazione.

Assegna sforzo normale e inclinazione asse

Sforzo normale sollecitante: $N = -720$ kN

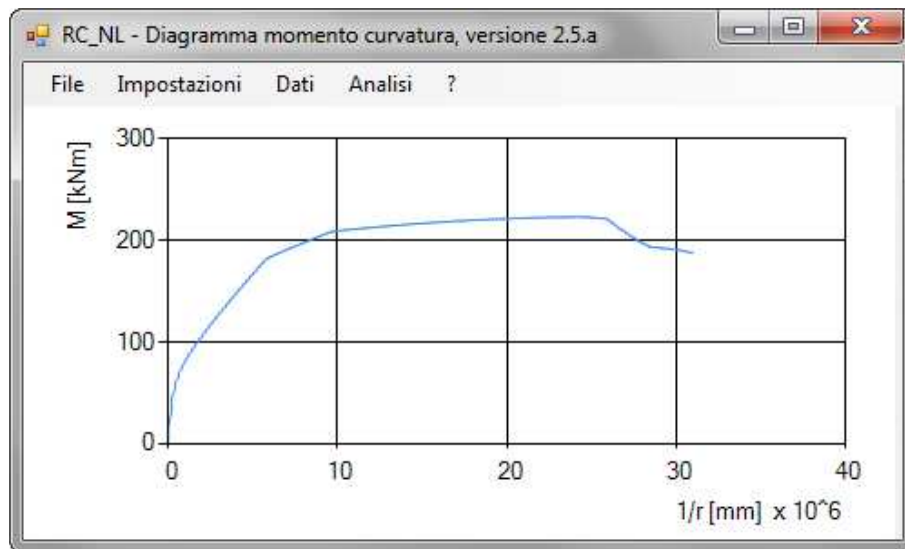
Opera mantenendo costante l'inclinazione di:

☒ asse neutro Inclinazione: $\alpha = 0$ °

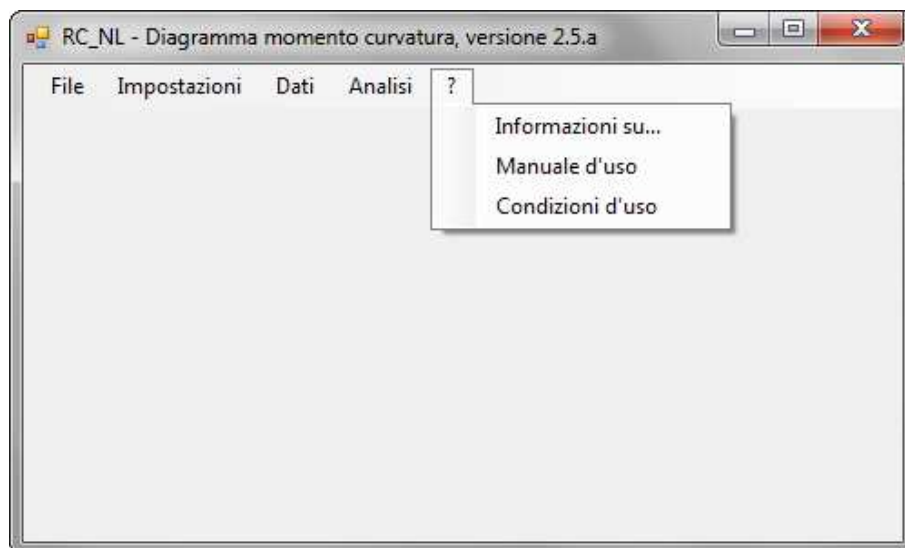
☐ asse di sollecitazione Inclinazione: $\beta =$ °

Ok Annulla

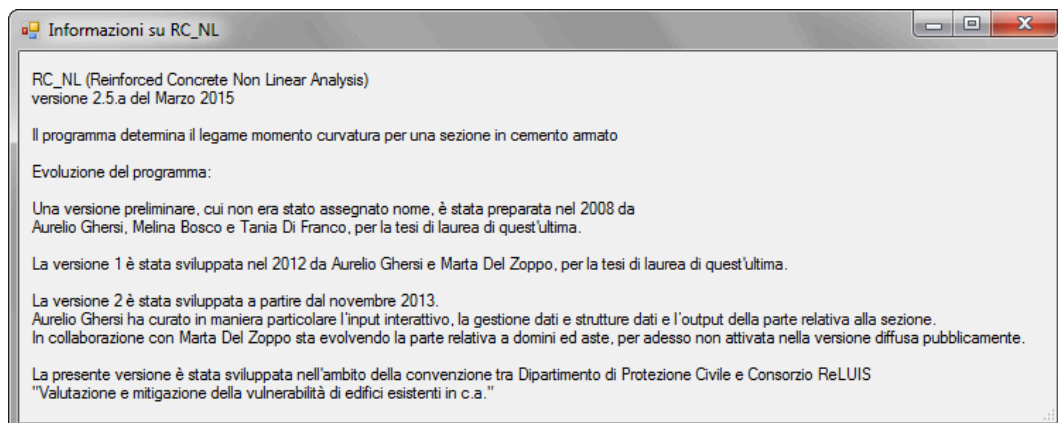
- Determina momento-curvatura dà il via alla determinazione del diagramma momento-curvatura richiesto. Il diagramma ottenuto viene mostrato nell'area di lavoro del programma.

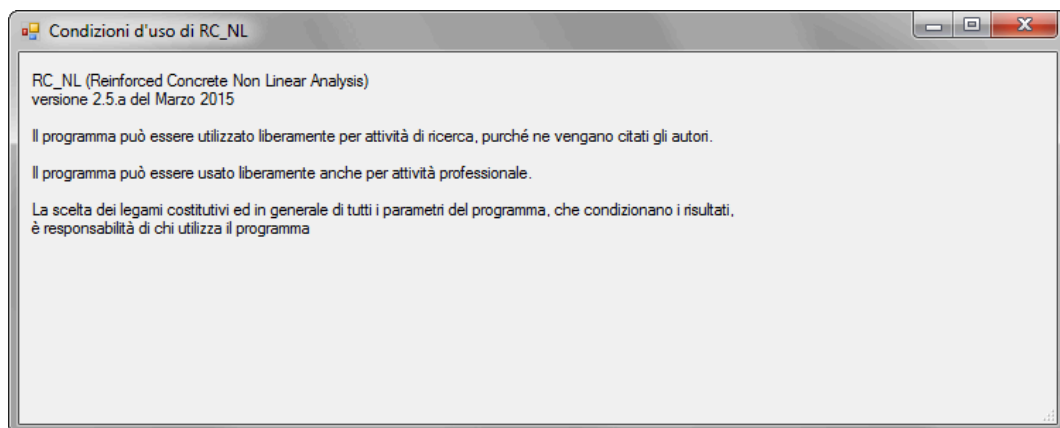
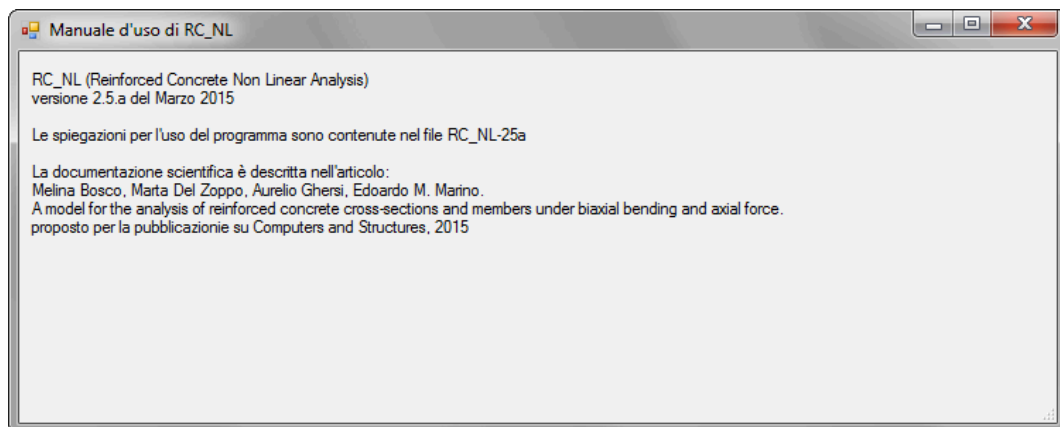


Il menu ? (Informazioni)



Il menu fornisce informazioni sul programma e sulle sue evoluzioni, indicazioni relative al manuale per l'uso del programma, nonché le condizioni con le quali si consente l'uso del programma.





File dati del programma RC_NL

È possibile salvare su file i dati del programma, in modo da riutilizzarli in momenti successivi. Il file dati è un file di testo che contiene tutte le informazioni necessarie per l'esecuzione, inframmezzate con commenti (righe che iniziano con apice). Non è indispensabile conoscere come è strutturato il file dati, ma per completezza se ne riporta un esempio.

```
' nome e versione programma
RC_NL 2.5.a
' sezione
R
' legami costitutivi: calcestruzzo compresso, calcestruzzo teso, acciaio
4, 0, 0
' parametri analisi: DyMin, Esatta, PassoChi, procedimento di carico
10, False, 1E-07, 0
' sezione di calcestruzzo rettangolare: b, h
300, 600
' sezione confinata: copriferro di calcolo
40
' armatura per sezione rettangolare - superiori: diametro barre spigolo, numero e diametro barre
aggiuntive
14, 0, 0
' armatura per sezione rettangolare - parete (per lato): numero e diametro barre parete
2, 14
' armatura per sezione rettangolare - inferiori: diametro barre spigolo, numero e diametro barre
aggiuntive
14, 0, 0
' calcestruzzo non confinato, per preparazione: calcolo automatico parametri
True
' dati calcestruzzo non confinato, per preparazione: resistenza da val sper, classe cls, fcm sper,
fatt conf
True, 2, 20, 1
' dati calcestruzzo non dipendenti da confinamento, parametri: Ec, fct
27085, 0
' dati calcestruzzo non confinato, parametri: fc, epsC0, epsCu, exp n
20, .001772, .0035, 0
' acciaio, per preparazione: calcolo automatico parametri
True
' dati acciaio, per preparazione: resistenza da val sper, tipo acc, fym sper, fatt conf
True, 4, 450, 1
' dati acciaio, parametri: fy, fu, Es, Eincr, epsSu, epsSh
450, 0, 200000, 0, 0, 0
' dati calcestruzzo confinato, per preparazione: calcolo automatico rapporti, parametri
True, True
' confinamento, parametri: fi staffe, lungh staffe, passo staffe, epsSu, alfa, rho, alfa x omega
6, 1480, 250, 0, .2, .001463, .006583
' dati calcestruzzo confinato, parametri: fc, epsC0, epsCu, eps50h, exp n
20.329, .001831, .004158, 0, 0
' sforzo normale
-1800
```