

Piastre.Az

Software per il calcolo strutturale delle piastre, anche di fondazione

(versione 4.0)

Manuale d'uso

Autore del software

Ing. Ciro Azzara

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

Cell. 348 1514947

e-mail: ing.azzara@libero.it

Gennaio 2019

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 2 di 41
---	----------------------	--------------

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
2	AVVIO DEL SOFTWARE.....	4
3	INPUT	7
3.1	Sistema di riferimento e convenzioni	7
3.2	DATI GENERALI	8
3.2.1	Metodo di soluzione e forma piastra.....	8
3.2.2	Unità di misura.....	9
3.2.3	Opzioni di calcolo	10
3.2.4	Normativa di riferimento	10
3.3	Menù GEOMETRIA E VINCOLI.....	10
3.3.1	Geometria	10
3.3.2	Tipo elemento finito e mesh automatica	11
3.3.3	Nodi e vincoli.....	11
3.3.4	Elementi finiti.....	13
3.4	Menù MATERIALI	14
3.4.1	Dati per l'analisi strutturale	14
3.4.2	Cemento armato.....	14
3.4.3	Terreno di fondazione.....	15
3.5	Menù CARICHI	15
3.5.1	Carichi.....	15
3.5.2	Carichi nodali.....	16
3.5.3	Carichi distribuiti	16
3.6	VERIFICHE	17
3.7	IMPOSTAZIONI.....	17
4	CALCOLO.....	18
5	OUTPUT – MENÙ VISUALIZZA	18
5.1	Tabulato di calcolo	18
5.2	Disegno piastra e carichi	21
5.3	Spostamenti.....	21
5.4	Diagrammi caratt. sollecitazione.....	22
5.5	Grafici 3D	23
5.6	Linee isostatiche	23
5.7	Esecutivo C.A.	23
5.8	Relazione di calcolo.....	23
6	LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE.....	23

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 3 di 41
---	----------------------	--------------

APPENDICE 1 – Valori indicativi della costante di Winkler	25
APPENDICE 2 – Novità ultime versioni del software	25
APPENDICE 3 – Gestione errori.....	26
APPENDICE 4 – Casi svolti e validazione del software	26
n. 1 – Piastra quadrata appoggiata al contorno e soggetta a un carico uniform. ripartito.....	26
n. 2 – Piastra rettangolare appoggiata al contorno e soggetta a un carico uniform. ripartito	31
n. 3 – Piastra rettangolare incastrata al contorno e soggetta a un carico uniform. ripartito	32
n. 4 – Piastra rettangolare appoggiata al contorno e soggetta a un carico idrostatico	33
n. 5 – Piastra circolare.....	35
n. 6 – Piastra di forma complessa con lati paralleli agli assi XY, variamente vincolata e soggetta a carichi concentrati e ripartiti	37
n. 7 – Piastra con lati curvi, variamente vincolata e soggetta a carichi concentrati e ripartiti	39
Bibliografia	41

1 INTRODUZIONE

Il presente applicativo, sviluppato in ambiente Microsoft Excel^{®1}, effettua il calcolo strutturale delle piastre² in conglomerato cementizio armato normale (C.A.), in acciaio o in materiale generico, anche a contatto con il terreno (piastre di fondazione).

La piastra può avere qualunque forma: **rettangolare, circolare, complessa** (anche con contorni curvilinei e con lati non paralleli agli assi di riferimento).

I vincoli al contorno possono essere di qualunque genere: **incastro, appoggio, libero, cedevole elasticamente**.

La piastra può essere soggetta a **qualunque condizione di carico** (carichi distribuiti per unità di superficie e/o concentrati).

Il metodo di risoluzione della piastra è quello agli **Elementi Finiti (F.E.M)**. In taluni casi è applicabile anche il metodo per sviluppo in serie doppia o semplice, mentre per la piastra circolare con vincoli e carichi assial-simmetrici può essere utilizzata la soluzione finita in forma chiusa.

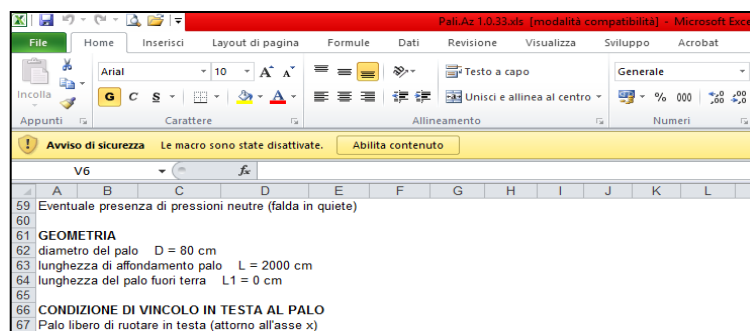
Per le piastre in C.A. di forma rettangolare o circolare è possibile effettuare il calcolo delle armature metalliche e le **verifiche di resistenza** sia con il **Metodo delle Tensioni Ammissibili**, di cui al D.M. 11/02/1992, che con il **Metodo agli Stati Limite Ultimi**, di cui al **D.M 14/01/2008** e al recente aggiornamento **D.M. 17/01/2018** (Norme Tecniche sulle Costruzioni, nel seguito NTC o NTC 2018).

Le applicazioni pratiche più ricorrenti sono: solai, pareti laterali, di fondo e di copertura di vasche interrate e fuori terra contenenti liquidi o materiali sfusi, fondazioni a piastra ecc.

Come per ogni software tecnico, l'utente di *Piastre.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Scienza e Tecnica delle Costruzioni) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software; è sempre necessario che l'utente verifichi l'attendibilità dei risultati ottenuti.

L'applicativo, abbastanza semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali. Il suo uso evita la necessità di consultare abachi, tabelle e formule varie, presenti in letteratura, per la risoluzione di piastre variamente vincolate e caricate e permette la soluzione di qualunque tipi di piastra, anche con contorno curvilineo, comunque caricate e comunque vincolate.

2 AVVIO DEL SOFTWARE



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

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

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

² Elementi strutturali bidimensionali piani soggetti a carichi ortogonali al piano medio.

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 5 di 41
---	----------------------	--------------

premere sul pulsante *“Abilita contenuto”*.

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

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

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

Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall’autore. A tale scopo l’utente deve preventivamente comunicare all’autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno “-”. Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d’uso.

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

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

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 6 di 41
---	----------------------	--------------

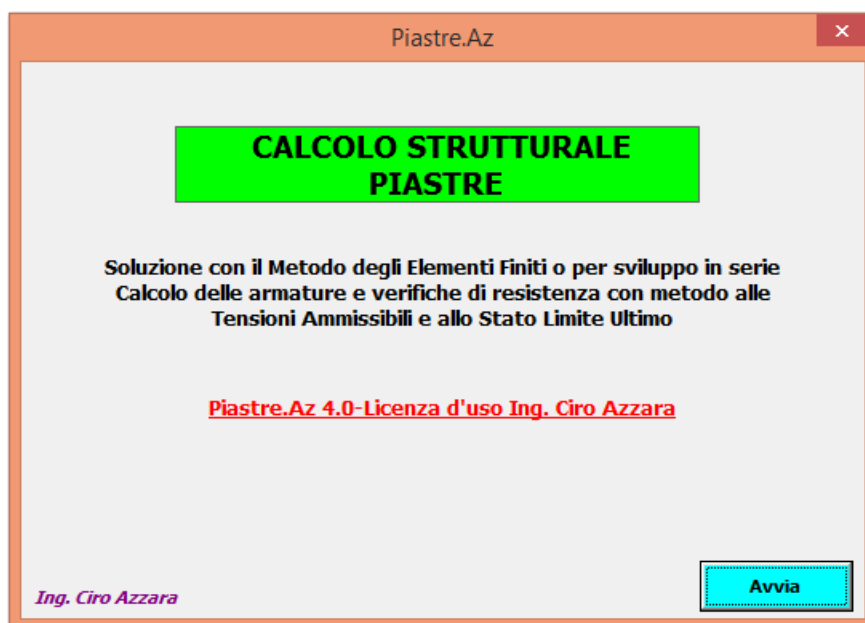
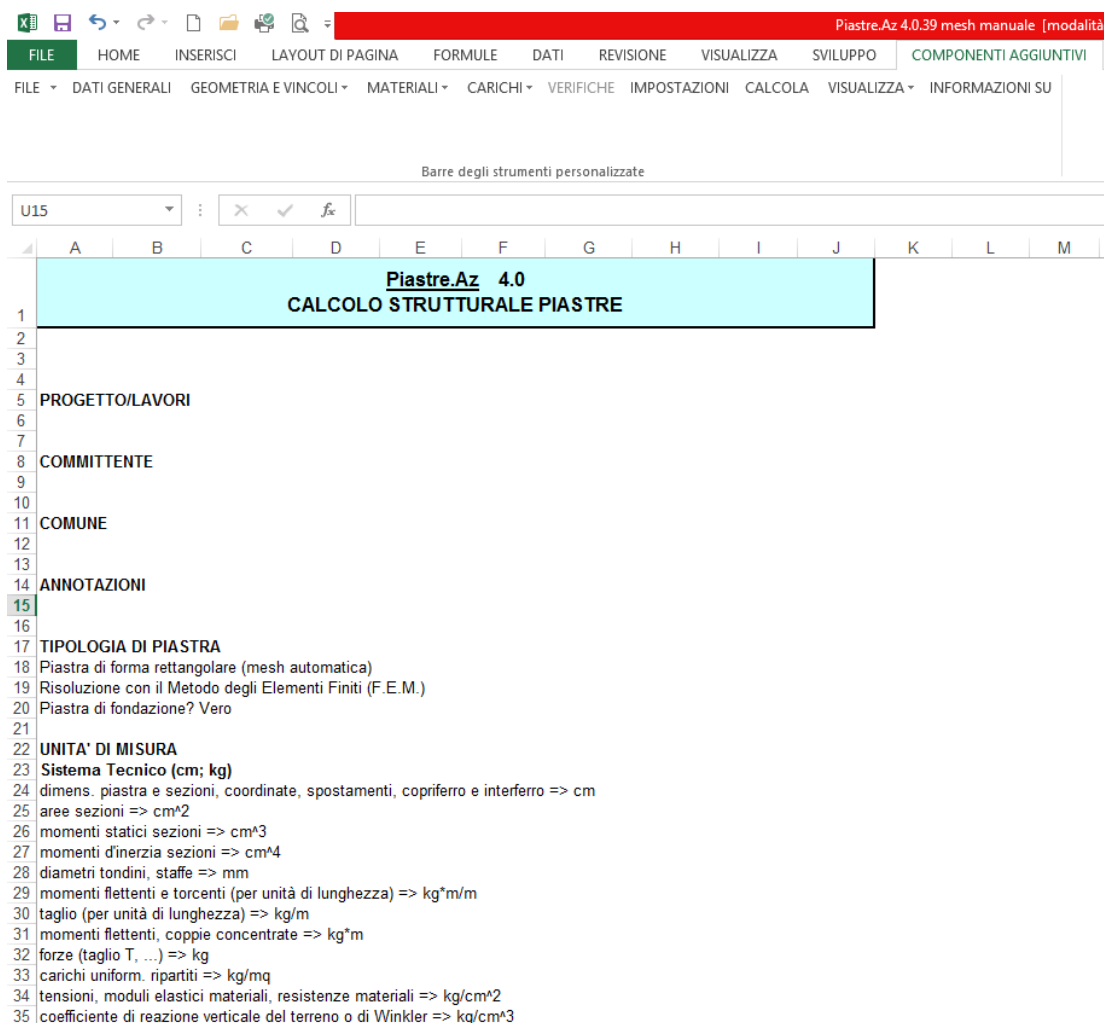


Fig. 1 Schermata di presentazione del software


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



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

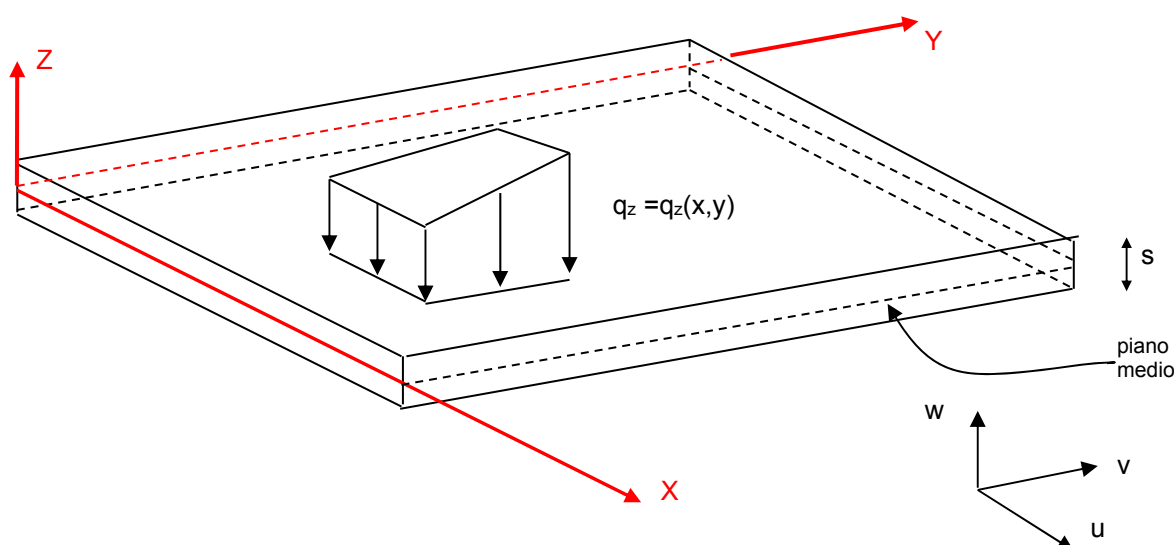
- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;
- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;
- stampare il tabulato di calcolo, i grafici e i disegni;
- impostare l'area di stampa;
- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

3 INPUT

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

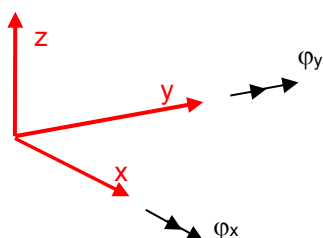
3.1 Sistema di riferimento e convenzioni

Le piastre sono strutture bidimensionali piane soggette a carichi in direzione ortogonale rispetto al piano medio. Si assume un sistema di riferimento cartesiano assoluto XYZ come qui indicato (assi orientati con la convenzione della mano destra), con gli assi XY contenuti nel piano medio della piastra e l'asse Z ortogonale al piano medio.

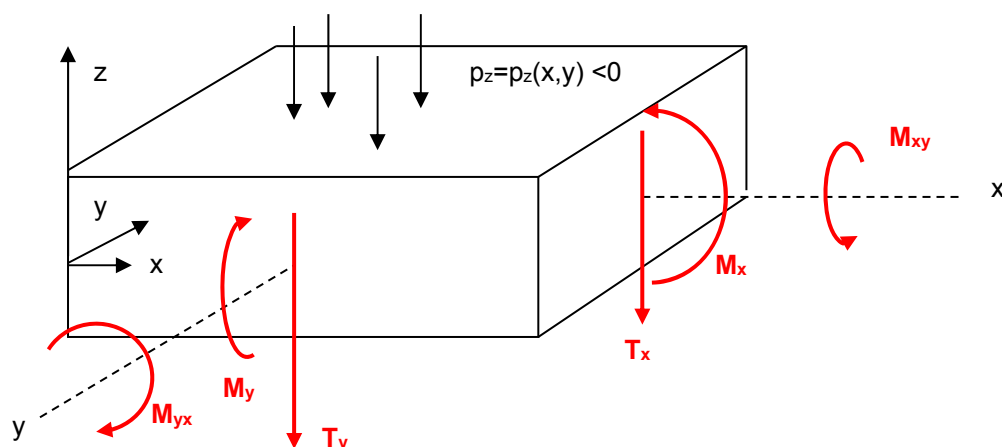


La piastra ai fini dell'analisi strutturale si considera costituita da materiale elastico-lineare, omogeneo ed isotropo, con spessore “s” costante e soggetta ad una distribuzione di carico per unità di superficie $q_z(x, y)$. Con u, v, w si indicano le componenti lungo x, y, z dello spostamento del generico punto della

piastra, con φ_x e φ_y si indicano le rotazioni dell'elemento normale (segmento rettilineo e normale alla superficie media).



Le caratteristiche di sollecitazioni presenti nelle piastre sono i momenti flettenti M_x e M_y , il momento torcente M_{xy} e gli sforzi di taglio T_x e T_y . Tali caratteristiche di sollecitazione sono riferire all'unità di lunghezza lungo x e y .



Il momento flettente M_x è il momento che flette le fibre parallele all'asse x ed è positivo se tende le fibre aventi z negative. Il momento flettente M_y è il momento che flette le fibre parallele all'asse y ed è positivo se tende le fibre aventi z negative. Il momento torcente M_{xy} è positivo se ha asse momento concorde con l'asse x . Lo sforzo di taglio T_y agisce sulla faccia di normale y ed è positivo se discorde con l'asse z . Analogamente per T_x .

3.2 DATI GENERALI

In questo pannello si inseriscono i dati generali sul calcolo da effettuare. Il nominativo indicato nel campo "Progettista/Tecnico" viene riportato in calce alla relazione di calcolo.

3.2.1 METODO DI SOLUZIONE E FORMA PIASTRA

Il software è organizzato per risolvere i problemi della piastra distinguendoli in tre famiglie in funzione del metodo di risoluzione adottato.

La piastra rettangolare appoggiata al contorno può essere risolta sia con il metodo per sviluppo in serie (doppia o semplice) di funzioni che con il metodo degli elementi finiti (FEM).

Se viene risolta con il metodo per sviluppo in serie, il carico applicato può essere:

- uniformemente ripartito applicato su tutta la piastra;
- uniformemente ripartito applicato su una porzione rettangolare;

- idrostatico (o triangolare) lungo lasse X;
- concentrato (unica forza verticale applicata in un qualunque punto della piastra).

La soluzione per sviluppo in serie di funzioni può essere considerata “esatta” o “teorica” in relazione alla soluzione approssimata ottenuta con il Metodo agli Elementi Finiti (FEM).

DATI GENERALI

Progetto/Lavori

Committente

Comune

Progettista/Tecnico

Annotazioni

Metodo di soluzione e forma piastra

☐ Soluzione con serie di funzioni (piastra rettangolare appoggiata al contorno)

☐ Soluzione analitica (piastra circolare)

☒ Metodo Elementi Finiti (F.E.M.)

☒ forma rettangolare

☐ forma circolare, settore o corona circolare, parte di corona circ.

☐ forma complessa con lati paralleli agli assi X, Y

☐ forma qualunque

☒ mesh automatica

Normativa di riferimento (calcolo armature e verifiche)

☒ D.M. 11/02/1992 - Tensioni Ammissibili

☐ D.M. 14/01/2008 - Stato Limite Ultimo

☐ D.M. 17/01/2018 - Stato Limite Ultimo

Materiale

☒ Cemento armato

☐ Acciaio

☐ generico

Sistema per le unità di misura

☒ Sistema Tecnico (cm, kg)

☐ Sistema Internazionale (cm, N)

opzioni di calcolo

☐ piastra di fondazione

☐ Effettua calcolo armature e verifiche di resistenza

Annulla **Salva e chiudi**

La piastra circolare, incastrata o appoggiata al contorno, soggetta a carico uniformemente ripartito o a carico concentrato applicato al centro della piastra può essere risolta in forma chiusa (soluzione analitica esatta) o con il FEM.

In tutti gli altri casi (piastra di forma qualunque e comunque caricata e vincolata al contorno) occorre risolvere la piastra con il Metodo agli Elementi Finiti (FEM). Se la piastra è di forma rettangolare o circolare o settore circolare o corona circolare (o porzione di corona circolare) può essere scelta la mesh automatica con notevole semplificazione

dell'input. Negli altri casi, invece, la mesh è di tipo manuale (inserimento delle coordinate dei nodi degli elementi finiti, dei vertici che compongono i vari elementi finiti, dei vincoli in corrispondenza dei nodi esterni, dei carichi concentrati applicati ai nodi, dei carichi distribuiti sugli elementi finiti,). Per le piastra con lati paralleli agli assi X, Y è possibile utilizzare l'elemento finito rettangolare di Kirchhoff.

Si rinvia agli esempi in appendice per maggiori chiarimenti.

3.2.2 UNITÀ DI MISURA

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

Con il Sistema Tecnico le dimensioni geometriche sono misurate in **cm**, lo sforzo di taglio e le forze concentrate in **kg** (il taglio per unità di lunghezza in **kg/m**), i momenti e le coppie concentrate in **kg*m** (il momento per unità di lunghezza in **kgm/m**), le tensioni, le resistenze caratteristiche e i moduli elastici in **kg/cm²**, il diametro dei tondini in **mm**, il carico ripartito in **kg/m²**.

Con il Sistema Internazionale le dimensioni geometriche sono misurate in **cm**, lo sforzo di taglio e le forze concentrate in **kN** (il taglio per unità di lunghezza in **kN/m**), i momenti e le coppie concentrate in **kN*m** (il momento per unità di lunghezza in **kNm/m**), le tensioni, le resistenze caratteristiche e i moduli elastici in **N/mm²**, il diametro dei tondini in **mm**, il carico ripartito in **kN/m²**.

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

3.2.3 OPZIONI DI CALCOLO

L'opzione **Effettua calcolo armature e verifiche di resistenza** consente, per le piastre in C.A. di forma rettangolare o circolare, di effettuare il calcolo delle armature in conformità alla normativa prescelta. Se l'opzione non viene selezionata il software calcola solamente lo stato di spostamento e di sollecitazione che interessa la piastra.

L'opzione piastra di fondazione consente di calcolare le piastre a contatto con il terreno utilizzando il modello di sottosuolo alla Winkler (molle elastiche verticali indipendenti tra loro).

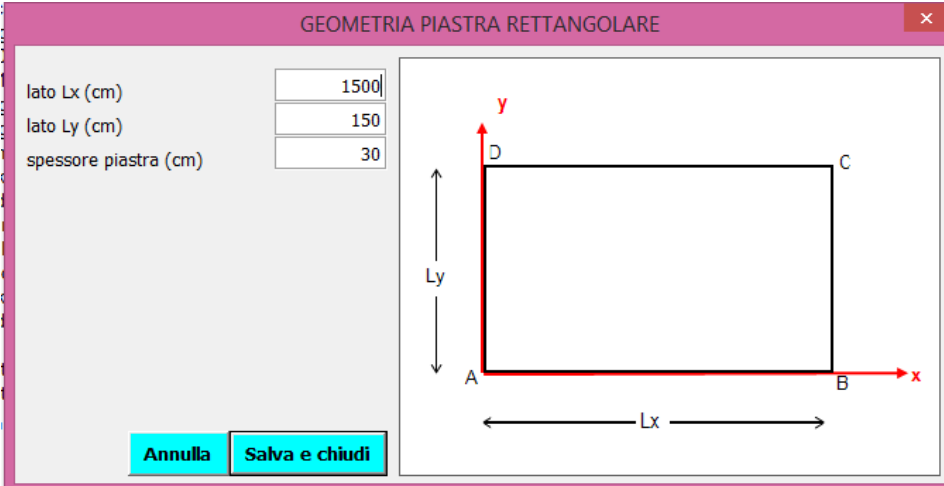
3.2.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si attiva quando si sceglie di effettuare il calcolo delle armature nelle piastre in C.A. Scegliendo il D.M. 14/02/1992, il software effettua il calcolo delle armature e le verifiche di resistenza con il **metodo delle Tensioni Ammissibili**. Con il D.M. 14/01/2008 e con il D.M. 17/01/2018, invece, si procede con le verifiche allo **Stato Limite Ultimo (SLU)**.

Si ricorda che in quest'ultima metodologia si introducono i coefficienti parziali sulle azioni (amplificazione delle azioni) e sui parametri di resistenza dei materiali calcestruzzo e acciaio (abbattimento delle resistenze).

3.3 Menù GEOMETRIA E VINCOLI

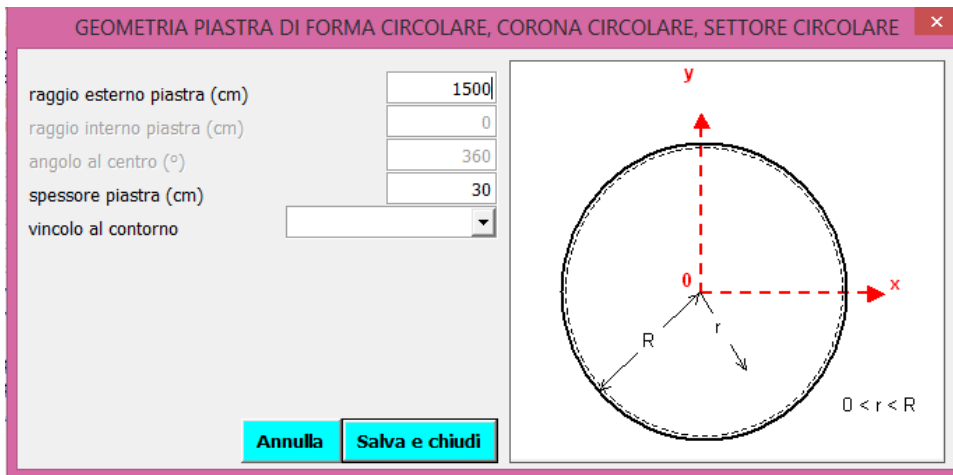
3.3.1 GEOMETRIA



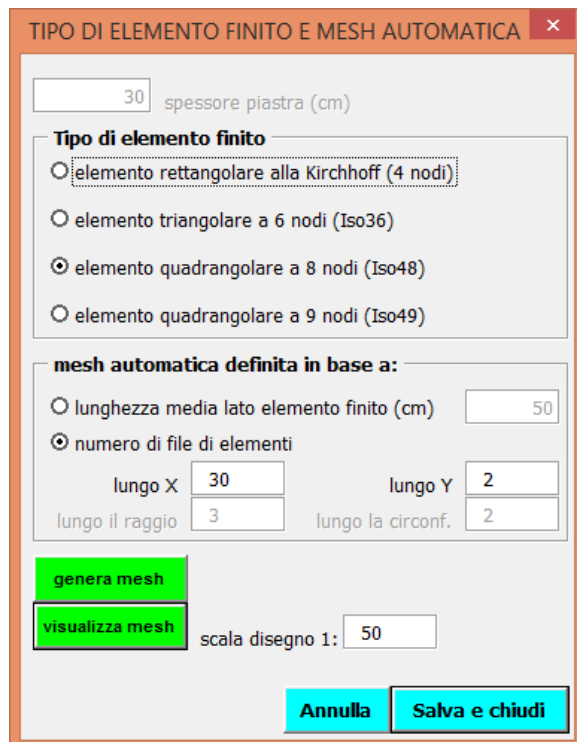
Il pannello permette di inserire le dimensioni geometriche della piastra rettangolare risolta per sviluppo in serie di funzioni o con il FEM con mesh automatica.

Analogamente per la piastra circolare risolta analiticamente o con il FEM con mesh automatica. Variando opportunamente il valore del raggio interno e dell'angolo al centro si ottengono le forme settore circolare, corona circolare, porzione di corona circolare.

Il vincolo al contorno può essere “appoggiato” o “incastrato”.



3.3.2 TIPO ELEMENTO FINITO E MESH AUTOMATICA



Nel caso di soluzione con il FEM occorre inserire lo spessore della piastra (quando non indicato nel pannello GEOMETRIA) e scegliere il tipo di elemento finito da utilizzare nel calcolo. L'elemento di Kirchhoff, come già detto, si può utilizzare per piastre aventi i lati paralleli agli assi X, Y. Gli altri tre tipi di elementi finiti permettono di risolvere la piastra di Mindlin in cui si considerano le deformazioni dovute al taglio (scorrimenti non nulli), utile soprattutto per le piastre con spessori maggiori.

Quando è possibile fare la mesh automatica occorre indicare i parametri necessari. È chiaro che all'aumentare del grado di raffittimento della mesh, la soluzione converge a quella esatta ma i tempi di esecuzione dei calcoli aumentano anche sensibilmente (raggiungendo le decine di minuti). In genere non serve ottenere mesh con numero di elementi superiori a 50-60.

Impostati i parametri per la mesh automatica occorre premere su “genera mesh”. Premendo su “visualizza mesh” si può verificare la mesh generata.

3.3.3 NODI E VINCOLI

In questo pannello è possibile inserire/modificare le coordinate assolute X, Y di ogni nodo della piastra. Tali dati sono già presenti nel caso di mesh automatica.

INPUT NODI

Coordinate assolute

X (cm)

Y (cm)

Nodo interno/ esterno

☐ Nodo vincolo esterno

movimenti impediti

☐ traslazione lungo Z

☐ rotazione attorno a X

☐ rotazione attorno a Y

☐ rotazione attorno a n

alfa (°)

nodo	X (cm)	Y (cm)	nodo esterno?	Trasl. Z	Rotaz. X	Rotaz. Y	Rotaz. n	alfa (°)
1	0	0	NO					
2	50	0	NO					
3	100	0	NO					
4	150	0	NO					
5	200	0	NO					
6	250	0	NO					
7	300	0	NO					
8	350	0	NO					
9	400	0	NO					
10	450	0	NO					
11	500	0	NO					
12	550	0	NO					
13	600	0	NO					
14	650	0	NO					
15	700	0	NO					

Visualizza/Modifica dati direttamente sul foglio

Aggiorna disegno

Annula

Salva e chiudi

Per i nodi in cui sono presenti vincoli esterni è necessario indicare i movimenti impediti tra:

- traslazione verticale (lungo Z)
- rotazione attorno all'asse X (ad es. per i nodi che cadono lungo un lato appoggiato parallelo all'asse Y)
- rotazione attorno all'asse Y (ad es. per i nodi che cadono lungo un lato appoggiato parallelo all'asse X)
- rotazione attorno alla direzione n, nel caso di contorno curvo: l'angolo alfa è l'angolo di rotazione, compreso tra 0° e 90°, che la tangente al contorno della piastra deve fare per sovrapporsi all'asse X, positivo se orario (o, che è lo stesso, l'angolo di rotazione che la normale n al contorno della piastra deve fare per sovrapporsi all'asse Y, positivo se orario).

VINCOLI DI LINEA

nodo iniziale

nodo finale

tipo di vincolo

nodo iniz.	nodo fin.	tipo di vincolo
1	13	appoggio
1	157	appoggio
157	169	appoggio
13	169	appoggio

Aggiungi

Modifica

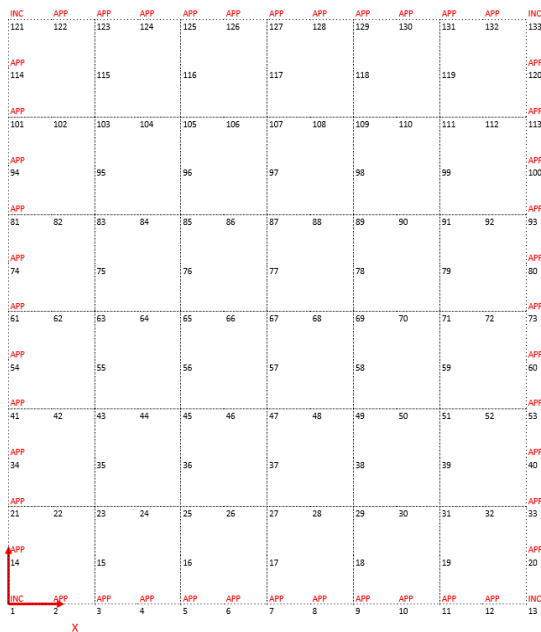
Elimina

Annula

Salva e chiudi

Il bottone “**Inserisci vincoli di linea**” permette di accelerare le operazioni di input potendo inserire un vincolo lungo una linea definita da due nodi della mesh. In automatico verranno riportati, nel pannello precedente, le indicazioni sui movimenti impediti. Ad esempio, nel caso di piastra rettangolare appoggiata è sufficiente

inserire quattro vincoli di linea “appoggio” e il lavoro è concluso. Premendo su “Aggiorna disegno” si potrà verificare se l’input è stato effettuato correttamente (in vicinanza ai nodi vincoli esterni sarà presente l’indicazione del tipo di vincolo inserito: es. “APP” per appoggio, “INC” per incastro, “RX=0” per rotazione attorno all’asse X impedita ecc).



INPUT NODI

Coordinate assolute

X (cm)
Y (cm)

Nodo interno/esterno

☐ Nodo vincolo esterno

movimenti impediti

☐ traslazione lungo Z

☐ rotazione attorno a X

☐ rotazione attorno a Y

☐ rotazione attorno a n

alfa (°)

Visualizza/Modifica dati direttamente sul foglio **Aggiorna disegno** **Annulla** **Salva e chiudi**

nodo	X (cm)	Y (cm)	nodo esterno?	Trasl. Z	Rotaz. X	Rotaz. Y	Rotaz. n	alfa (°)
1	0	0	SI	SI	SI	SI	NO	
2	100	0	SI	SI	NO	SI	NO	
3	200	0	SI	SI	NO	SI	NO	
4	300	0	SI	SI	NO	SI	NO	
5	400	0	SI	SI	NO	SI	NO	
6	500	0	SI	SI	NO	SI	NO	
7	600	0	SI	SI	NO	SI	NO	
8	700	0	SI	SI	NO	SI	NO	
9	800	0	SI	SI	NO	SI	NO	
10	900	0	SI	SI	NO	SI	NO	
11	1000	0	SI	SI	NO	SI	NO	
12	1100	0	SI	SI	NO	SI	NO	
13	1200	0	SI	SI	SI	SI	NO	
14	0	100	SI	SI	SI	NO	NO	
15	200	100	NO					

L'input nodi e vincoli può essere fatto direttamente su foglio, cliccando su "Visualizza/modifica dati direttamente sul foglio".

Attenzione: nel caso di piastra di fondazione su suolo elastico alla Winkler non è necessario specificare alcun vincolo esterno in quanto il software automaticamente considera i nodi della mesh tutti vincoli esterni cedevoli elasticamente alla traslazione lungo l'asse Z.

3.3.4 ELEMENTI FINITI

DATI ELEMENTI FINITI

Matrice di incidenza (nodi che definiscono ogni elemento finito)

elem. 1° nodo 2° n 3° n 4° n

elem. 1 3 11 20

2 3 5 13 11

3 5 7 15 13

4 11 13 22 20

5 13 15 24 22

Inserisci >> **Modifica** **Elimina**

Determina Nodi intermedi **Aggiorna disegno** **Visualizza dati sul foglio** **Annulla** **Salva e chiudi**

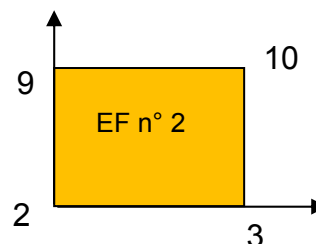
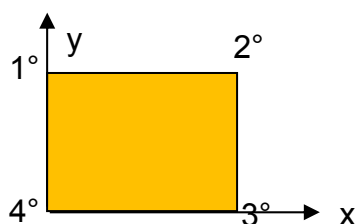
In questo pannello, attivo solo in caso di mesh manuale, è possibile inserire/modificare i nodi che definiscono ogni elemento finito presente nella piastra (*matrice di incidenza*).

Nel caso di elemento di elemento triangolare ISO36 occorre inserire i tre nodi che definiscono l'elemento finito; negli altri casi (elemento di Kirchhoff, ISO48, ISO 49) occorre inserire i quattro nodi.

Per dato elemento finito, si può procedere in senso orario o antiorario iniziando da un qualunque nodo.

Nell'esempio seguente (elemento di Kirchhoff), volendo iniziare dal nodo in alto a

sinistra in senso orario, la posizione del 1° nodo dell'elemento finito 2 è occupata dal nodo 9, la posizione del 2° nodo dal nodo 10, quella del 3° nodo dal nodo 3 e quella del 4° nodo dal nodo 2.



Il pulsante “*Determina Nodi intermedi*” permette di generare automaticamente, per gli elementi ISO36, ISO48 e ISO49, i nodi intermedi lungo i lati del triangolo o quadrangolo. Premendo su “*Aggiorna disegno*” si può visualizzare la mesh e capire se l’input procede correttamente.

Conclusa la fase di input della geometria e dei vincoli è opportuno verificare l’input dal menù **VISUALIZZA>Disegno piastra e carichi**.

3.4 Menù MATERIALI

3.4.1 DATI PER L’ANALISI STRUTTURALE

Il modulo elastico longitudinale e il coefficiente di Poisson del materiale costituente la piastra sono gli unici parametri che servono per determinare lo stato di spostamento e di sollecitazione presenti nella piastra.

3.4.2 CEMENTO ARMATO

Nel caso di piastre in cemento armato occorre inserire i parametri che servono per il calcolo delle

DATI MATERIALI CEMENTO ARMATO	
<div> <div>250</div> <div>resistenza caratt. cubica del cls, Rck (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>Classe di resistenza: C20/25</div> </div> <div> <div>B450C</div> <div>tipo di acciaio</div> </div> <div> <div>imposta parametri</div> <div>calcola parametri</div> <div>cancella dati</div> </div> <div> <div>306582</div> <div>modulo elastico longit. cls Ec (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>2100000</div> <div>modulo elastico longit. acciaio Es (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>15</div> <div>coefficiente di omogeneizzazione n</div> </div>	<div> <div>VERIFICHE SEZIONI AGLI S.L.U.</div> <div> <div>Diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo</div> <div> <div> <div>parabola-rettangolo (preferibile)</div> <div>0,2</div> <div>deformazione ec2 (%)</div> </div> <div> <div>triangolo-rettangolo</div> <div>0,175</div> <div>deformazione ec3 (%)</div> </div> <div> <div>rettangolo o stress block</div> <div>0,07</div> <div>deformazione ec4 (%)</div> </div> <div> <div>0,35</div> <div>deformazione di rottura (%)</div> </div> </div> </div> </div> <div> <div>1,5</div> <div>coeff. parziale di sicurezza calcestruzzo</div> </div> <div> <div>289,05</div> <div>resist. media a compress. cilindrica, fcm (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>207,5</div> <div>resist. caratt. a compress. cilindrica, fck (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>117,58</div> <div>resist. di progetto a compressione, fcd (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>22,8</div> <div>resist. media a trazione, fctm (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>15,96</div> <div>resist. caratteristica a trazione, fctk (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>10,64</div> <div>resist. di progetto a trazione, fctd (kg/cmq)</div> </div>
<div> <div>VERIFICHE SEZIONI ALLE TENSIONI AMMISSIBILI</div> <div> <div></div> <div>tens. ammiss. di compressione nel cls (kg/cmq)</div> </div> <div> <div></div> <div>tens. tang. ammiss. nel cls, tc0 (kg/cmq)</div> </div> <div> <div></div> <div>tens. tang. ammiss. nel cls, tc1 (kg/cmq)</div> </div> <div> <div></div> <div>tens. ammiss. acciaio (kg/cmq)</div> </div> <div> <div></div> <div>tens. ammiss. convenzionale acciaio (kg/cmq)</div> </div> </div> <div> <div>Annulla</div> <div>Salva e chiudi</div> </div>	<div> <div>Diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio</div> <div> <div> <div>elastico-perfettamente plastico</div> <div>6,75</div> <div>deformazione a rottura (%)</div> </div> <div> <div>bilineare con incrudimento</div> <div>1,2</div> <div>rapporto di sovrarresistenza k (>1)</div> </div> </div> </div> <div> <div>1,15</div> <div>coeff. parziale di sicurezza acciaio</div> </div> <div> <div>4500</div> <div>tensione caratt. di snervam. acciaio, fyk (kg/cmq)</div> </div> <div> <div>3913,04</div> <div>resistenza di progetto acciaio, fyd (kg/cmq)</div> </div>

armature e per le verifiche di resistenza. È necessario specificare la resistenza caratteristica del

calcestruzzo R_{ck} e il tipo di acciaio³, nonché, se si procede agli SLU, i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio.

Il bottone **Calcola parametri** consente di determinare i parametri relativi al cls e all'acciaio in funzione della classe del calcestruzzo (R_{ck}), del tipo di acciaio e della normativa di riferimento prescelti. Resta comunque salva la possibilità per l'utente di modificare i dati calcolati in automatico.

3.4.3 TERRENO DI FONDAZIONE

Nel caso di piastre di fondazione è necessario inserire il coefficiente di reazione verticale del terreno o coefficiente di Winkler; esso, nel caso più generale di terreno eterogeneo, può variare da nodo a nodo.

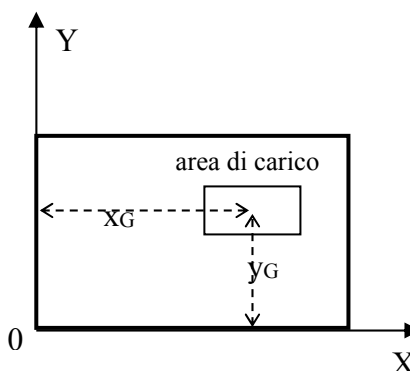
Il tasto “Carica tutti” consente di caricare il parametro in tutti i nodi della mesh.

3.5 Menù CARICHI

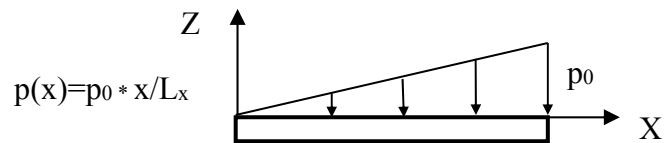
3.5.1 CARICHI

Nel caso di piastra rettangolare risolta con il metodo di sviluppo in serie di funzione o di piastra circolare risolta con il metodo analitico si presenta il seguente pannello per l'inserimento dei carichi.

Il segno del carico segue il verso dell'asse Z. Nel caso in cui il verso è discorde all'asse Z (quasi sempre) occorre inserire il carico con il segno meno “-”.



³ Tipi di acciaio previsti per il calcolo in base al DM1992: **Fe B 22 k, Fe B 32 k, Fe B 38 k, Fe B 44 k**. Tipo di acciaio previsto per il calcolo in base al DM 2008: **B450C**.



3.5.2 CARICHI NODALI

CARICHI NODALI

Nodo	Fz (kg)	Mx (kg/m)	My (kg/m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Visualizza/Modifica dati direttamente sul foglio

Annulla Salva e chiudi

Permette di inserire le forze applicate direttamente in corrispondenza dei nodi della mesh (nodi interni e nodi esterni con movimenti liberi).

La forza Fz è parallela all'asse globale Z, ortogonale al piano medio XY della piastra. Il momento flettente Mx ha asse vettore parallelo all'asse X (e quindi compie lavoro con la rotazione φ_x attorno all'asse X) e,

analogamente, My ha asse vettore parallelo all'asse Y. Il segno segue la regola della mano destra (ad es. il momento Mx è positivo se l'asse vettore parallelo all'asse X è concorde con l'asse X).

Per semplificare l'input viene visualizzato di default il disegno della piastra con l'indicazione dei nodi.

3.5.3 CARICHI DISTRIBUITI

Carichi uniformemente distribuiti sugli elementi finiti

Elemento	qz (kg/mq)
1	-1000
2	-1000
3	-1000
4	-1000
5	-1000
6	-1000
7	-1000
8	-1000
9	-1000
10	-1000
11	-1000
12	-1000
13	-1000

Visualizza/Modifica dati direttamente sul foglio

Annulla Salva e chiudi

Permette di inserire le forze uniformemente distribuite qz sugli elementi finiti.

La direzione è quella dell'asse Z. In genere il carico è discorde all'asse Z per cui si deve mettere il segno meno "-".

Il carico distribuito può variare da elemento ad elemento; questo permette di simulare carichi applicati su porzione della piastra, carichi non costanti ecc.

3.6 VERIFICHE

DATI PER IL CALCOLO DELLE ARMATURE E LE VERIFICHE DI RESIST...

Armatura longitudinale

16 diametro da adottare (mm)

0 rapporto $A'f/Af$ (armatura zona compressa/armatura zona tesa)

2 copriferro c_f (cm)

3 interferro: distanza minima netta tra le barre longitudinali (cm)

40 interasse massimo tra le barre (cm)

Annulla **Salva e chiudi**

È attivo per le piastre in C.A. di forma rettangolare o circolare quando si spunta la relativa opzione in DATI GENERALI. Consente di inserire i dati per il calcolo delle armature longitudinali (a flessione) e per le verifiche di resistenza.

3.7 IMPOSTAZIONI

IMPOSTAZIONI DI CALCOLO e GRAFICHE

Impostazioni di calcolo

6 n° elementi in cui si divide il lato L_x (Npx)

6 n° elementi in cui si divide il lato L_y (Npy)

☒ soluzione per sviluppo in serie doppia

☐ soluzione per sviluppo in serie semplice

10 n° di termini delle serie da considerare (es. 10)

Impostazioni grafiche

Scala per il disegno della piastra 1: 70

Integrazione numerica

3 n° punti di campionamento delle funzioni (punti di Gauss)

3 n° punti di campionamento delle funzioni (metodo di Hammer)

3 n° punti di campionamento o di Gauss matrice rigidezza parte flessionale

2 n° punti di campionamento o di Gauss matrice rigidezza parte a taglio

valori suggeriti

Annulla **Salva e chiudi**

In questo pannello si inseriscono le ultime impostazioni di calcolo.

Per le piastre rettangolari risolte con sviluppo in serie di funzione occorre fissare il numero di elementi (da 1 a 40) in cui si pensano divisi i due lati della piastra rettangolare e il numero di termini delle serie da considerare (da 1 a 100). La piastra viene così ad essere interessata da un reticolo nei cui nodi vengono calcolati gli spostamenti lungo l'asse Z e le caratteristiche di sollecitazione (M_x , M_y , M_{xy} , T_x , T_y).

Per le piastre risolte con il FEM, applicandosi l'integrazione numerica con il metodo di Gauss o di Hammer (per gli elementi finiti di forma triangolare), è necessario indicare il numero di punti di campionamento

(da 1 a 4) da utilizzare nell'integrazione numerica. Il tasto "valori suggeriti" permette di impostare tali parametri in funzione del tipo di elemento finito prescelto.

Si ricorda che la scelta dell'ordine di integrazione da utilizzare nel calcolo ha un peso che può risultare non trascurabile in termini di tempi di elaborazione necessari per la costruzione delle matrici di rigidezza, soprattutto con piastre in cui sono presenti molti elementi finiti, senza che alle volte si abbia alcuna contropartita in termini di aumento della precisione dei risultati.

4 CALCOLO

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

Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità dei dati introdotti segnalando eventuali errori che comportano l'interruzione del calcolo. Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche e/o meccaniche che non permettono l'elaborazione; non segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali né altri tipi di errori.

Il calcolo delle armature nelle piastre in C.A. rettangolari viene fatto dividendo i lati in tre strisce larghe $L/4$, $L/2$ ed $L/4$, essendo L la lunghezza del lato. In ogni striscia viene disposta l'armatura che viene fuori utilizzando le massime sollecitazioni relative ai nodi presenti nella striscia stessa.

5 OUTPUT – Menù VISUALIZZA

L'applicativo fornisce i seguenti risultati, sia in forma grafica che numerica, che possono essere stampati dal menù FILE:

- superficie elastica $w = w(x,y)$
- rotazioni dell'elemento normale attorno agli assi X e Y
- reazioni vincolari
- caratteristiche di sollecitazione M_x , M_y , M_{xy} , T_x , T_y in corrispondenza dei nodi
- momenti principali e linee isostatiche
- (per le piastre in C.A.) armature metalliche a flessione e verifiche di resistenza

L'esito negativo delle verifiche viene messo in evidenza con **scritte in grassetto di colore rosso**. Pertanto se nel tabulato di calcolo non risultano scritte di colore rosso significa che tutte le verifiche sono soddisfatte.

5.1 Tabulato di calcolo

Il tabulato di calcolo, stampabile, contiene tutti i dati di input e di output riferiti al progetto. Uno stralcio del tabulato è qui riportato:

DATI DI OUTPUT

Rigidezza flessionale della piastra, $D = 2525395 \text{ kg}\cdot\text{m}$

1) CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE IN VARI PUNTI/SEZIONI

sollecitazioni per unità di lunghezza

punto	x	y	w	Mx	My	Mxy	Tx	Ty
1	0	0	0	0	0	-6459	0	0
2	200	0	0	0	0	-5326	0	2179
3	400	0	0	0	0	-2765	0	3218
4	600	0	0	0	0	0	0	3394
5	800	0	0	0	0	2765	0	3218
6	1000	0	0	0	0	5326	0	2179
7	1200	0	0	0	0	6459	0	0
8	0	200	0	0	0	-5326	2179	0
9	200	200	0,9	1946	1946	-4435	1519	1519
10	400	200	1,52	2629	3175	-2356	453	2322
11	600	200	1,73	2608	3554	0	0	2503

Momenti principali

punto	Mmax	Mmin	alfa (°)
1	6459	-6459	45
2	5326	-5326	45
3	2765	-2765	45
4	0	0	tutti
5	2765	-2765	-45
6	5326	-5326	-45
7	6459	-6459	-45
8	5326	-5326	45
9	6381	-2489	45
10	5274	530	48,3
11	3554	2608	90

I momenti principali in ogni punto sono i momenti massimo e minimo al variare della giacitura avente normale contenuta nel piano medio della piastra. L'angolo alfa è l'angolo, compreso tra -90° e $+90^\circ$, che il piano dove agisce il momento massimo M_{\max} forma con l'asse X: è positivo se l'asse X deve ruotare in senso orario per sovrapporsi al piano dove agisce M_{\max} , negativo in caso opposto. L'indicazione "tutti" indica che ogni direzione uscente dal punto è direzione principale.

CALCOLO ARMATURE LONGITUDINALI E VERIFICHE DI RESISTENZA

Striscia di piastra larga 175 cm (da $y=0$ a $y=175$) parallela all'asse X

nodo/sez.	N	T	M	Ainf (cmq)	Asup (cmq)
22	0	2381	0	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=0$	$\sigma_f=0$	$\sigma_f=0$
23	0	2411	372	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=5,8$	$\sigma_f=255,9$	$\sigma_f=26,1$
24	0	2337	740	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=11,5$	$\sigma_f=509,5$	$\sigma_f=51,9$
25	0	2323	1104	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=17,1$	$\sigma_f=760,1$	$\sigma_f=77,4$
26	0	2204	1458	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=22,6$	$\sigma_f=1003,7$	$\sigma_f=102,2$
27	0	2142	1802	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=28$	$\sigma_f=1240,9$	$\sigma_f=126,4$
28	0	1971	2129	8,75	3 Φ 20 (9,42)
			$\sigma_c=33$	$\sigma_f=1465,8$	$\sigma_f=149,3$

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 20 di 41
---	----------------------	---------------

Nell'esempio sopra riportato sono indicati i risultati di una striscia parallela all'asse X larga B=175 cm. Per ogni nodo appartenente alla striscia in esame sono indicati:

- lo sforzo normale, il taglio e il momento flettente agente nella sezione trasversale avente larghezza B e altezza s (altezza della piastra). I valori delle sollecitazioni, essendo riferiti a B, non sono più per unità di lunghezza;
- le armature necessarie (sezioni espresse in cmq e numero di tondini individuato sulla base del diametro fissato), sia per il lembo inferiore che per quello superiore della sezione;
- le tensioni sui materiali, calcestruzzo (σ_c) e acciaio teso e compresso (σ_f e σ_f'), o le sollecitazioni ultime che la sezione è in grado di sopportare. Nel caso di calcolo agli SLU vengono indicati il momento ultimo della sezione (per verifica il momento flettente M deve essere compreso tra M_{ui} e M_{us}), il taglio T_{cls} sopportato dal solo calcestruzzo e il taglio V_{rcd} ⁴

Striscia di piastra larga 350 cm (da y=175 a y=525) parallela all'asse X

nodo/sez.	N	T	M	Ainf (cmq)	Asup (cmq)
15	0	19626	0	7,84	3 Φ 20 (9,42)
			$M_{ui}=-6430,8$ $M_{us}=6430,8$	$T_{cls}=28827,7$	$V_{rcd}=157410,2$
16	0	18374	11687	19,04	7 Φ 20 (21,99)
			$M_{ui}=-13776,2$ $M_{us}=13776,2$	$T_{cls}=37458,1$	$V_{rcd}=157410,2$
17	0	14308	22094	37,24	12 Φ 20 (37,7)
			$M_{ui}=-22499,4$ $M_{us}=22499,4$	$T_{cls}=44830,5$	$V_{rcd}=157410,2$
18	0	6760	29553	51,24	17 Φ 20 (53,41)
			$M_{ui}=-31106,4$ $M_{us}=31106,4$	$T_{cls}=50349,6$	$V_{rcd}=157410,2$
19	0	-5094	31492	55,44	18 Φ 20 (56,55)
			$M_{ui}=-32829,3$ $M_{us}=32829,3$	$T_{cls}=51318,1$	$V_{rcd}=157410,2$
20	0	-22590	23755	40,04	13 Φ 20 (40,84)
			$M_{ui}=-24222,6$ $M_{us}=24222,6$	$T_{cls}=46042,7$	$V_{rcd}=157410,2$

Per il calcolo delle armature a taglio con il metodo alle tensioni ammissibili, nelle zone in cui risulta $\tau \leq \tau_{c0}$ non occorre specifica armatura a taglio: è sufficiente adottare la minima armatura trasversale prevista dalla normativa. Viceversa nelle zone in cui $\tau > \tau_{c0}$ (deve comunque essere $\tau \leq \tau_{c1}$) occorre specifica armatura a taglio da calcolare.

Per il calcolo delle armature a taglio con il metodo agli SLU, nelle zone in cui risulta $T \leq T_{cls}$ non occorre specifica armatura a taglio: è sufficiente adottare la minima armatura trasversale prevista dalla normativa. Viceversa nelle zone in cui $T > T_{cls}$ occorre specifica armatura a taglio da calcolare.

I risultati sulle armature vengono riassunti a fine tabulato:

ARMATURE DA POSIZIONARE NEI VARI TRATTI

diametro tondini = 20 mm

Numero di tondini in direzione X

da y=0 cm a y=175 cm ==> lembo inf = 6 (1 fi 20 ogni 29,2 cm); lembo sup = 6 (1 fi 20 ogni 29,2 cm)

da y=175 cm a y=525 cm ==> lembo inf = 20 (1 fi 20 ogni 17,5 cm); lembo sup = 20 (1 fi 20 ogni 17,5 cm)

da y=525 cm a y=700 cm ==> lembo inf = 6 (1 fi 20 ogni 29,2 cm); lembo sup = 6 (1 fi 20 ogni 29,2 cm)

Numero di tondini in direzione Y

da x=0 cm a x=125 cm ==> lembo inf = 2 (1 fi 20 ogni 62,5 cm); lembo sup = 2 (1 fi 20 ogni 62,5 cm)

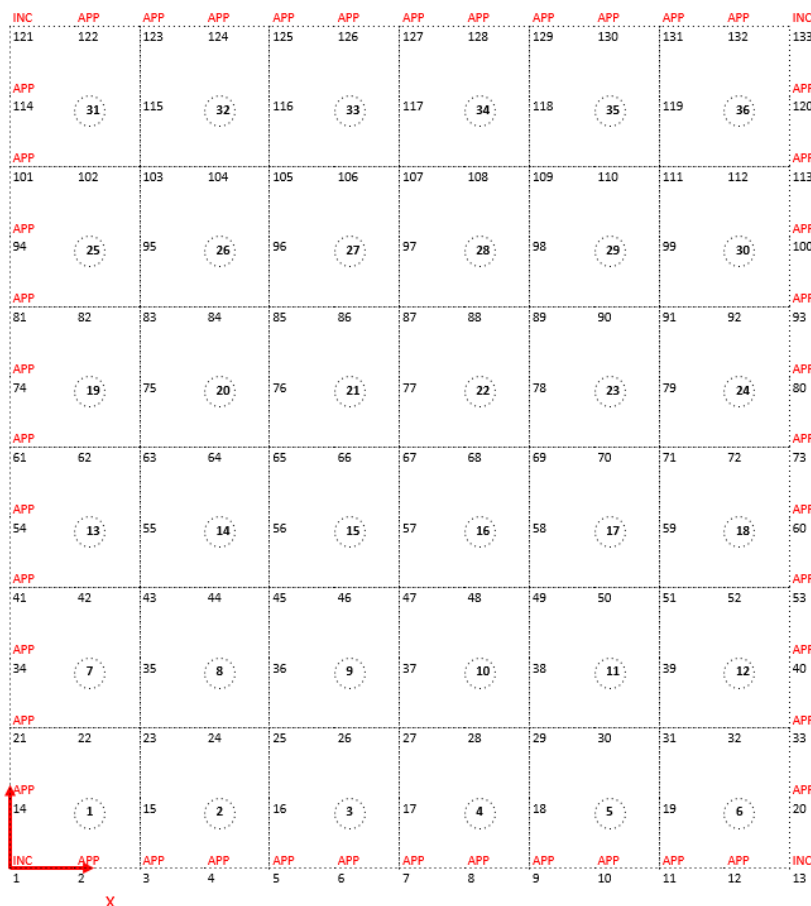
da x=125 cm a x=375 cm ==> lembo inf = 9 (1 fi 20 ogni 27,8 cm); lembo sup = 9 (1 fi 20 ogni 27,8 cm)

da x=375 cm a x=500 cm ==> lembo inf = 3 (1 fi 20 ogni 41,7 cm); lembo sup = 3 (1 fi 20 ogni 41,7 cm)

⁴ V_{Rcd} è la resistenza di calcolo a "taglio-compressione" del cls (crisi "lato cls") nel modello resistente a traliccio.

5.2 Disegno piastra e carichi

Per mezzo di questo pannello è possibile visualizzare la piastra, alla scala desiderata, con il sistema di riferimento XY, e, a scelta, i riferimenti dei nodi in cui vengono calcolati gli spostamenti e le caratteristiche di sollecitazione, i riferimenti degli elementi finiti, i vincoli e i carichi applicati.



PIASTRA con identificativi dei nodi e degli elementi finiti
scala 1:70 (spessore=22 cm)

DISEGNO PIASTRA

☐ Visualizza disegno già creato

☒ Realizza disegno alla scala 1:

☒ riferimenti nodi

☒ riferimenti elementi finiti

☒ vincoli

☐ carichi concentrati e/o distribuiti

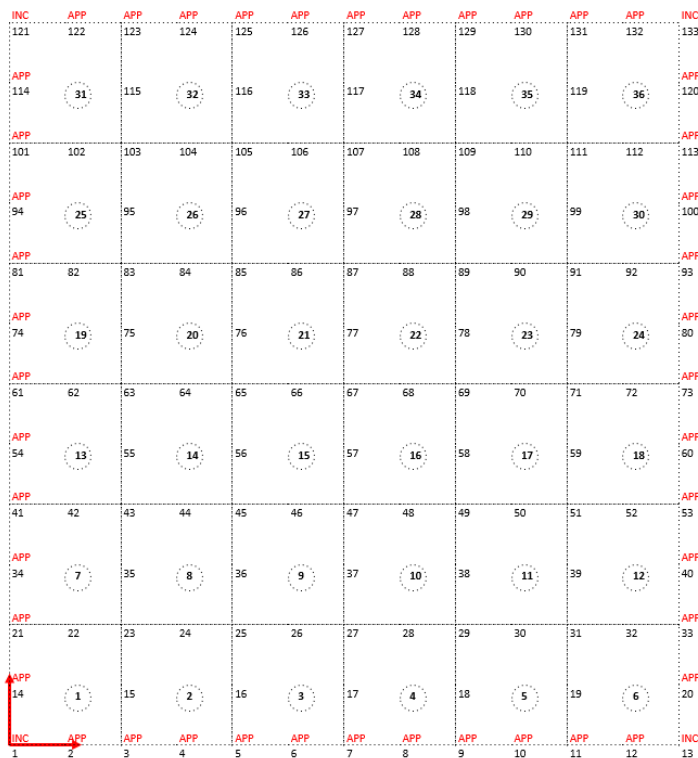
Chiudi

Visualizza

Dal disegno si può verificare la correttezza dell'input.

5.3 Spostamenti

Permette di visualizzare gli spostamenti lungo una linea definita da due nodi della mesh (deformata w e rotazioni). Per le piastre circolari risolte con il metodo analitico non occorre indicare i nodi.



SPOSTAMENTI PIASTRA LUNGO UNA LINEA DEFINITA DA DU...

☒ traslazioni lungo Z (abbassamenti)

☐ rotazioni attorno all'asse X

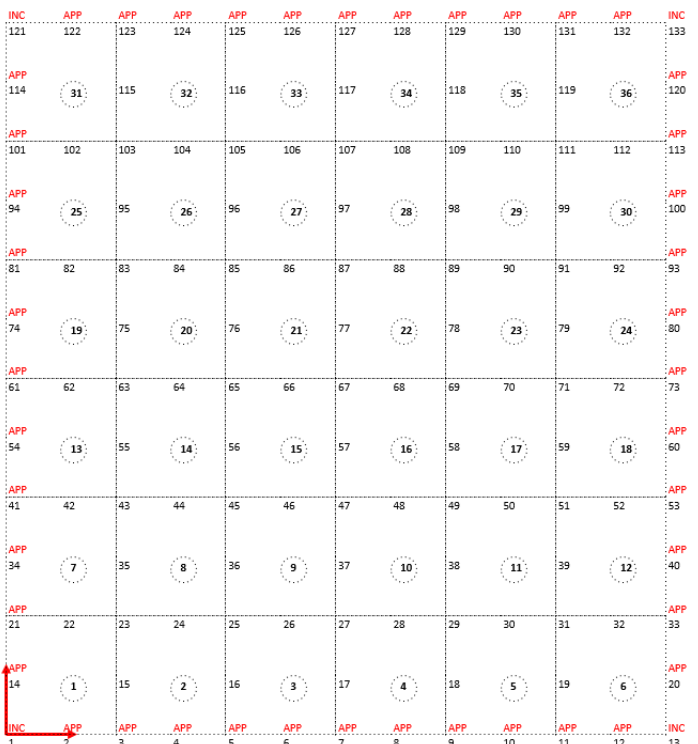
☐ rotazioni attorno all'asse Y

nodo iniziale: 61 nodo finale: 73

Chiudi **Visualizza piastra** **Visualizza** **Costruisci**

5.4 Diagrammi caratt. sollecitazione

Permette di visualizzare le caratteristiche di sollecitazione lungo una linea definita da due nodi della mesh. Per le piastre circolari risolte con il metodo analitico non occorre indicare i nodi.



VISUALIZZA CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE LUNGO ...

☐ momento flettente Mx

☐ momento flettente My

☐ momento torcente Mxy

☐ sforzo di taglio Ty

☐ sforzo di taglio Tx

nodo iniziale: nodo finale:

Chiudi **Visualizza piastra** **Visualizza** **Ricostruisci**

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 23 di 41
---	----------------------	---------------

5.5 Grafici 3D

Permette di visualizzare, per le piastre rettangolari (con mesh automatica se risolte con il FEM) e circolari (risolte con il metodo analitico), la superficie elastica e le caratteristiche di sollecitazione in una visione di insieme (prospettica).

5.6 Linee isostatiche

Visualizza sulla piastra i tratti essenziali delle linee isostatiche, ossia delle linee (direzioni principali) in cui il momento flettente assume i valori massimo e minimo. Le linee isostatiche sono tanto meglio definite quanto più sono i nodi della mesh.

Le linee isostatiche vengono visualizzate pure per la piastra circolare (risolta con il metodo analitico).

5.7 Esecutivo C.A.

Per le piastre in C.A. rettangolari o circolari visualizza l'esecutivo con l'indicazione dei tondini nelle due direzioni X e Y, sia sulla superficie superiore che su quella inferiore della piastra.

5.8 Relazione di calcolo

La *Relazione di calcolo*, in formato .doc modificabile, contiene anche le teorie ed i metodi implementati in *Piastre.Az* e ad essa va allegato il Tabulato di calcolo. Il progettista/tecnico apporterà alla Relazione di calcolo le modifiche e le integrazioni dipendenti dal caso in studio, con particolare riferimento alle parti evidenziate in giallo.

6 LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE

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

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

Non è consentito l'inserimento in pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore.

L'autore si riserva il diritto di apportare modifiche al software e alla documentazione senza preavviso.

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

Piastre.Az 4.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 24 di 41
--	----------------------	---------------

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

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

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

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

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

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

APPENDICE 1 – Valori indicativi della costante di Winkler

Valori indicativi della costante di Winkler (espressi in kg/cm³)

Terreno	k_w
Sabbia sciolta	0,5-1,60
Sabbia mediamente compatta	1-8
Sabbia compatta	6,5-13
Sabbia argillosa mediamente compatta	2,5-5
Sabbia limosa mediamente compatta	2,5-5
Sabbia e ghiaia compatta	10-30
Argilla	1,2-10

APPENDICE 2 – Novità ultime versioni del software

Versione 3.0


- implementazione del **metodo di soluzione gli elementi finiti** (F.E.M.), con possibilità di risolvere la piastra rettangolare comunque vincolata al contorno (vincoli incastro, appoggio o libero) e la piastra di forma qualunque con lati paralleli agli assi X, Y
- possibilità di calcolare piastre anche in **acciaio** o in **materiale generico** (escluse le verifiche di resistenza)
- aumento dei casi risolti sulle piastre circolari
- grafici a superficie 3D per l'output dei risultati
- Relazione esplicativa

Versione 4.0

- **aggiornamento alle NTC 2018**
- soluzione della **piastra di Mindlin** in cui si tiene conto delle deformazioni dovute al taglio (piastre con grossi spessori) e si elimina l'ipotesi di "conservazione dell'elemento normale" (scorrimenti non nulli). Implementazione degli elementi finiti **iso-parametrici triangolari a 6 nodi e quadrangolari a 8 e 9 nodi** per la piastra di Mindlin
- possibilità di risolvere **piastre di forma qualunque**, anche **con contorno curvilineo** e/o con **lati non paralleli agli assi X,Y**
- **piastra di fondazione** con terreno di fondazione alla Winkler
- **mesh automatica** anche per la piastra di forma circolare o settore circolare o corona circolare (o porzione)
- **nuova interfaccia utente** e miglioramento dei disegni e dei grafici
- **Relazione di calcolo**

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 26 di 41
---	----------------------	---------------

APPENDICE 3 – Gestione errori

Tipo di errore	Soluzione
Errore di run-time 13 o similari	È necessario verificare che venga usato, di sistema operativo, come separatore decimale la virgola e come separatore di migliaia il punto. Se l'utente utilizza l'impostazione inversa, infatti, alcuni dati non vengono calcolati. Per verificare i separatori andare in Opzioni Internazionali e della lingua del Pannello di controllo di Windows. Se il problema persiste, aprire Excel 2007 (nelle precedenti versioni cercare il menù Opzioni), fare clic sul pulsante Microsoft Office  (in alto a sinistra), quindi su Opzioni di Excel . In Opzioni di modifica nella categoria Impostazioni avanzate selezionare la casella di controllo Utilizza separatori di sistema .
Non si apre la Relazione di calcolo dal menù Visualizza	Questo piccolo problema si può verificare a seconda della versione e dei componenti installati del pacchetto Office di Microsoft nel pc dell'utente. In ogni caso la Relazione di calcolo che si genera premendo nel relativo link del software è la stessa di quella in formato .doc che viene inviata all'utente al momento dell'acquisto. Pertanto, anche se non si apre dal link del software <i>Piastre.Az</i> , si può lo stesso utilizzarla accedendo direttamente al file Word.

APPENDICE 4 – Casi svolti e validazione del software

Negli esempi dal n° 1 al n° 5 vengono effettuati dei confronti tra i risultati ottenuti con il software *Piastre.Az* e quelli ottenuti da vari autori nel passato e riscontrabili in letteratura e/o ottenibili con altri programmi di calcolo presenti sul mercato. La taratura o validazione dei vari algoritmi di calcolo implementati nel software, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale. Essa è anche prevista espressamente dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 (capitolo 10).

N. 1 – PIASTRA QUADRATA APPOGGIATA AL CONTORNO E SOGGETTA A UN CARICO UNIFORM. RIPARTITO

Si consideri l'esempio riportato in [1]: progettare con il metodo alle tensioni ammissibili una piastra in C.A. di forma quadrata, avente lato 12 m e spessore 22 cm, appoggiata al contorno e soggetta ad un carico uniformemente ripartito sull'intera superficie pari a 1.000 kg/mq (comprensivo del peso proprio della piastra).

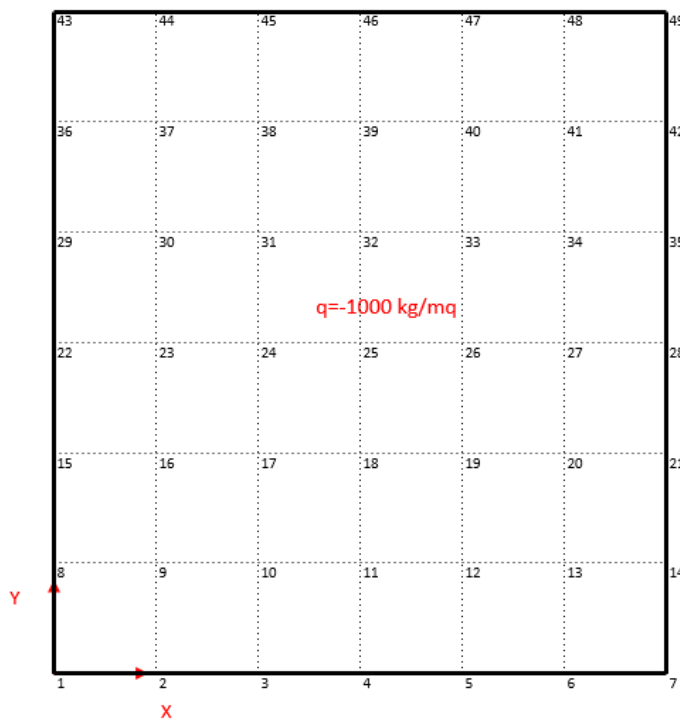
Si risolve per mezzo dello sviluppo in serie doppia assumendo 3 termini delle serie (DATI GENERALI e IMPOSTAZIONI).

Dati:

- $R_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2$ (modulo elastico longitudinale del cls = 284.605 kg/cmq)
- coefficiente di Poisson = 0

- Tipo di acciaio: Fe B 32 k
- diametro tondini da adottare = 16 mm
- rapporto armature = 0
- copriferro = 2 cm
- interferro = 3 cm
- interasse massimo tra le barre = 40 cm
- $N_{px}=6$
- $N_{py}=6$

Si inseriscono i dati in *Piastre.Az*. Il carico va inserito con il segno meno essendo di direzione opposta all'asse Z.



PIASTRA RETTANGOLARE APPOGGIATA AL CONTORNO con indicazione dei nodi in cui vengono calcolate le varie grandezze
scala 1:100 (Lx=1200 cm; Ly=1200 cm; spessore=22 cm)



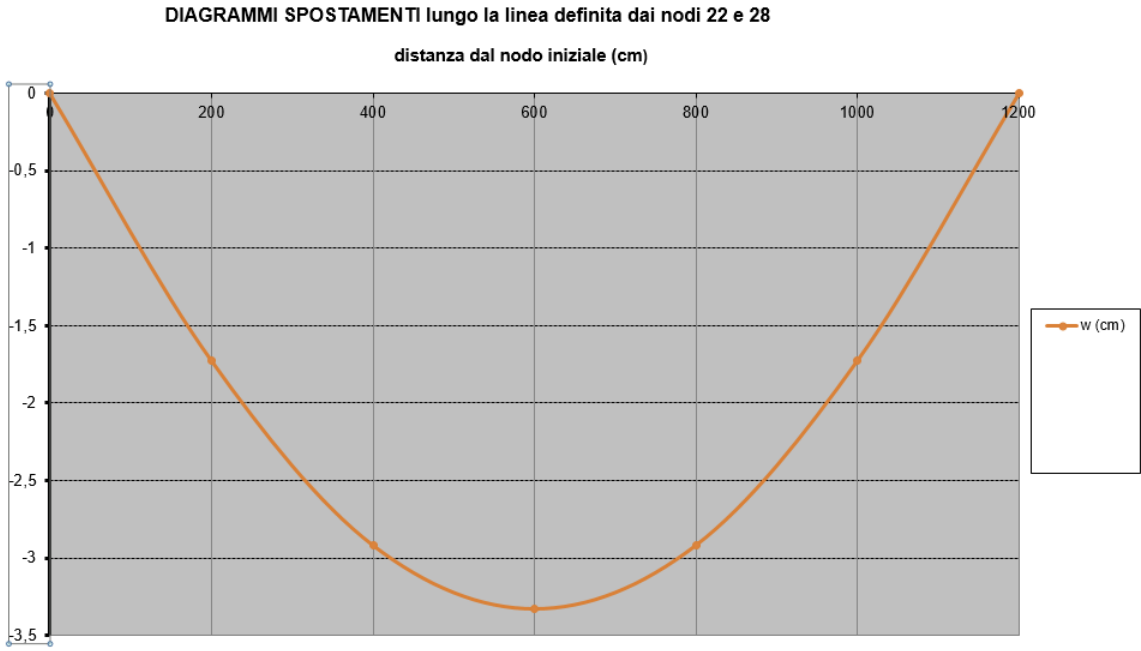
Si mette a confronto la soluzione ottenuta in [1] con la soluzione ottenuta con *Piastre.Az* (valori dei momenti in kgm/m):

Punto/ sez.	Zingone [1]					Piastre.Az				
	M_x	M_y	M_{xy}	M_ξ	M_η	M_x	M_y	M_{xy}	M_ξ	M_η
1	0	0	-6.540	6.540	-6.540	0	0	-6.459	6.459	-6.459
2	0	0	-5.250	5.250	-5.250	0	0	-5.326	5.326	-5.326
3	0	0	-2.800	2.800	-2.800	0	0	-2.765	2.765	-2.765
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	-5.250	5.250	-5.250	0	0	-5.326	5.326	-5.326
9	1.970	1.970	-4.500	6.470	-2.530	1.946	1.946	-4.435	6.380	-2.489
10	2.640	3.200	-2.340	5.300	500	2.629	3.175	-2.356	5.273	530
11	2.700	3.600	0	2.700	3.600	2.608	3.554	0	3.554	2.608
15	0	0	-2.800	2.800	-2.800	0	0	-2.765	2.765	-2.765
16	3.200	2.640	-2.340	5.300	500	3.175	2.696	-2.356	5.273	530

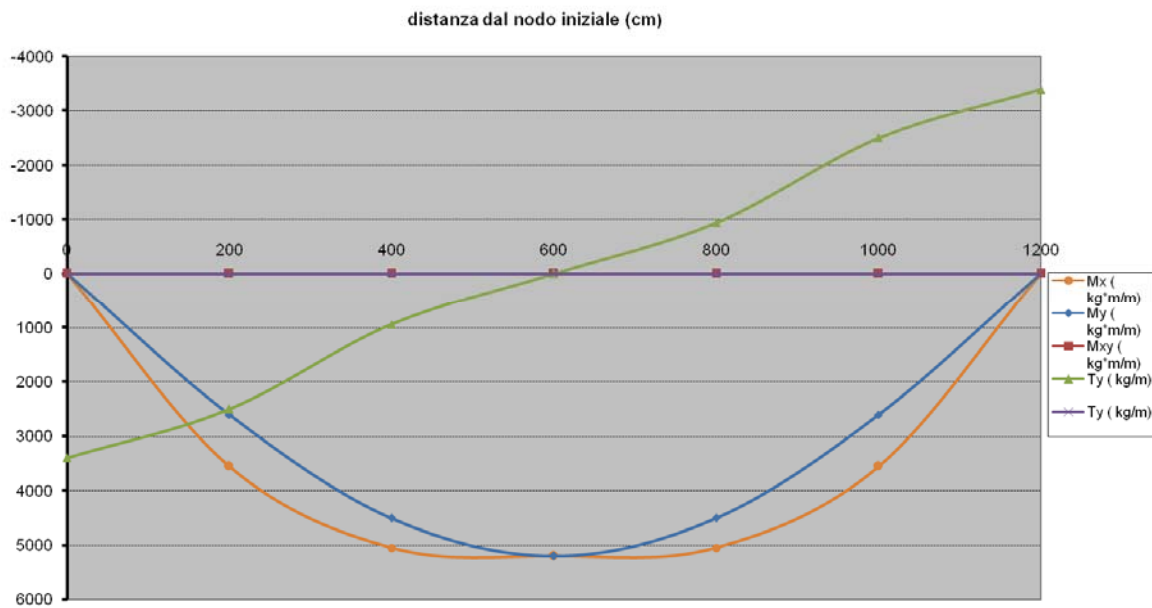
17	4.460	4.460	-1.160	5.620	3.300	4.435	4.435	-1.315	5.750	3.120
18	4.520	5.100	0	5.100	4.520	4.506	5.053	0	5.053	4.506
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	3.610	2.700	0	3.600	2.700	3.554	2.608	0	3.554	2.608
24	5.100	4.520	0	5.100	4.520	5.053	4.506	0	5.053	4.506
25	5.200	5.200	0	5.200	5.200	5.198	5.198	0	5.198	5.198

Come si può notare la corrispondenza è evidente.

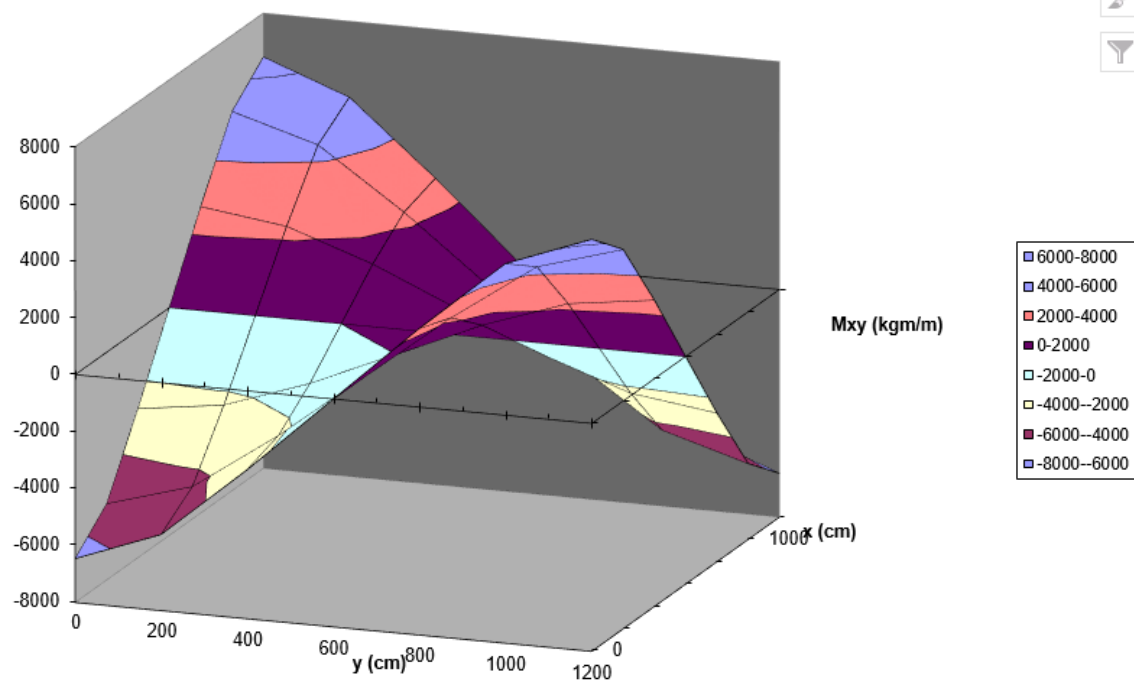
La deformata e le caratteristiche di sollecitazione lungo la sezione di ordinata Y=600 cm (nodi 22-28) sono di seguito indicate:



DIAGRAMMI CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE lungo la linea definita dai nodi 22 e 28



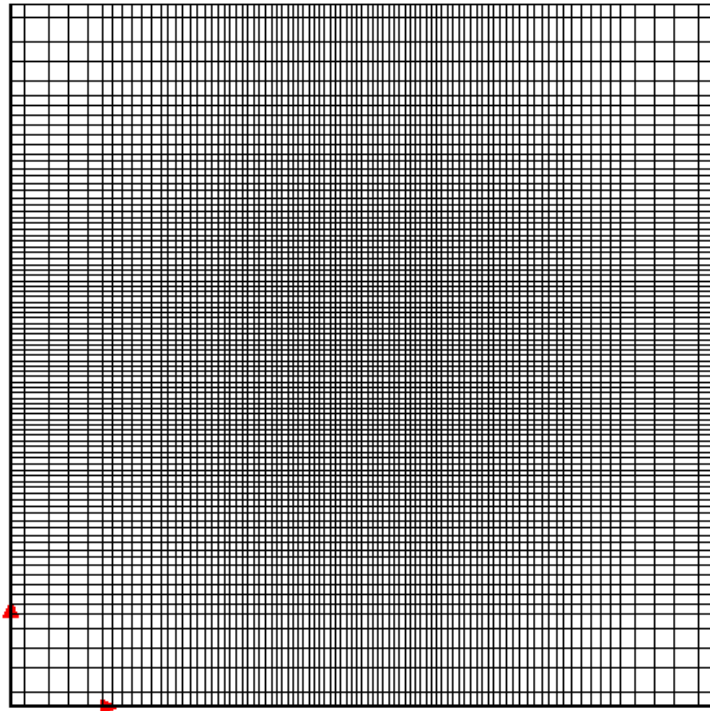
MOMENTO TORCENTE Mxy



Gli esecutivi delle armature sono:

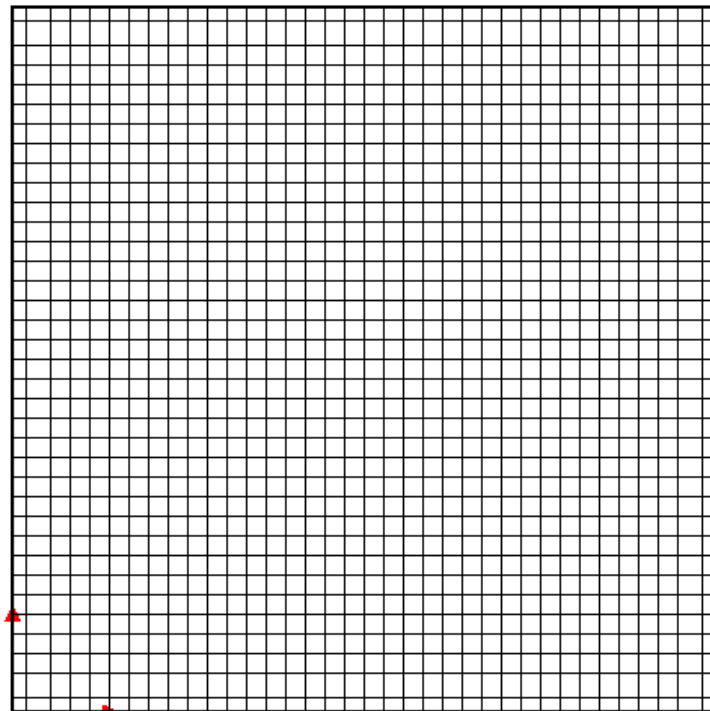
**ESECUTIVO DELLE ARMATURE
LONGITUDINALI**
scala 1:100 - superficie inferiore

Y



**ESECUTIVO DELLE ARMATURE
LONGITUDINALI**
scala 1:100 - superficie superiore

Y



Si omette di allegare il tabulato di calcolo.

Si risolve ora lo stesso esempio con il metodo degli elementi finiti (DATI GENERALI) attivando la mesh automatica con suddivisione dei due lati in sei parti e adottando l'elemento di Kirchhoff (*GEOMETRIA E VINCOLI>Tipo elemento finito e mesh automatica*).

Occorre inserire i vincoli nei nodi al contorno; per fare ciò si può utilizzare, al fine di velocizzare l'input, la funzione *"Inserisci vincolo di linea"* precisando i nodi di inizio e di fine e il tipo di vincolo (in questo caso "appoggio") per ognuno dei quattro lati della piastra. Per verificare se i vincoli sono stati inseriti correttamente visualizzare il disegno della piastra premendo sul bottone *"Aggiorna disegno"*.

Nel menù *CARCHI>Carichi distribuiti* occorre inserire -1000 kg/mq in ogni elemento finito che è stato creato.

Si considerano tre punti di Gauss per l'integrazione numerica (IMPOSTAZIONI).

A calcoli eseguiti si ottengono, tra gli altri, i seguenti risultati:

nodo	M_x	M_y	M_{xy}
1	0	0	-6.780
2	0	301	-5.428
3	0	269	-2.850
4	0	279	0
8	301	0	-5.428
9	2.141	2.141	-4.468
10	2.647	3.445	-2.417
11	2.763	3.862	0
15	269	0	-2.850
16	3.445	2.647	-2.417
17	4.517	4.517	-1.341
18	4.758	5.172	0
22	279	0	0
23	3.862	2.763	0
24	5.172	4.758	0
25	5.475	5.475	0

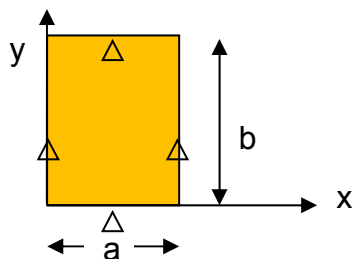
I risultati sono molto prossimi tra loro nonostante si sia assunta una mesh con pochi elementi finiti.

N. 2 – PIASTRA RETTANGOLARE APPOGGIATA AL CONTORNO E SOGGETTA A UN CARICO UNIFORM. RIPARTITO

Una piastra rettangolare, di larghezza $a=400$ cm e lunghezza $b=600$ cm, spessore costante $s=20$ cm, appoggiata lungo i quattro lati, è soggetta ad un carico uniformemente ripartito su tutta la piastra di intensità $q=-1.200$ kg/mq. Il materiale (C.A.) ha le seguenti caratteristiche:

- modulo elastico longitudinale $E=280.000$ kg/cmq;
- coefficiente di Poisson = 0,1.

Determinare lo spostamento e i momenti flettenti M_x e M_y nel punto centrale C della piastra.



La rigidezza flessionale della piastra vale:

$$D = \frac{E \cdot s^3}{12(1-\nu^2)} = 188.552.188,55 \text{ kgcm} = 1.885.521,89 \text{ kgm}$$

La soluzione che si ottiene utilizzando tabelle e grafici riportati in letteratura⁵ è la seguente:

$$w_c = c_f \cdot \frac{q \cdot a^4}{D} = 0,00772 \cdot \frac{1200 \cdot 4^4}{1.855.521,89} = 0,001258 \text{ m} = 0,1258 \text{ cm}$$

$$M_{x,c} = (c_1 + \nu \cdot c_2) \cdot q \cdot a^2 = (0,0728 + 0,1 \cdot 0,0280) \cdot 1200 \cdot 4^2 = 1.451,52 \text{ kgm/m}$$

$$M_{y,c} = (c_2 + \nu \cdot c_1) \cdot q \cdot a^2 = (0,0280 + 0,1 \cdot 0,0728) \cdot 1200 \cdot 4^2 = 677,38 \text{ kgm/m}$$

Con *Piastre.Az* viene risolta la piastra sia con lo sviluppo in serie doppia, assumendo 6 elementi in cui dividere ciascuno dei due lati e 10 termini delle serie, che con il metodo agli elementi finiti con l'elemento rettangolare di Kirchhoff, assumendo una mesh 10x10.

Confronto dei risultati:

grandezza	Soluzione formule letteratura	Piastre.Az (soluz. per sviluppo in serie – nodo 25)	diff. %	Piastre.Az (soluz. con F.E.M. – nodo 61)	diff. %
w _c (cm)	0,1258	0,1258	0,00%	0,1271	1,03%
M _{x,c} (kgm/m)	1.451,52	1.452,17	0,04%	1.473,09	1,49%
M _{y,c} (kgm/m)	677,38	680,37	0,44%	682,88	0,71%

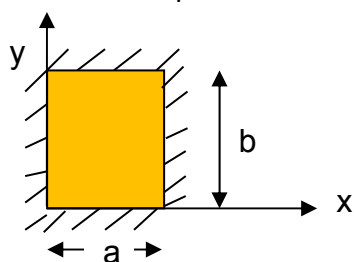
Come si può notare i risultati ottenuti con *Piastre.Az* sono in perfetto accordo con quelli ottenuti con le formule riportate in letteratura.

N. 3 – PIASTRA RETTANGOLARE INCASTRATA AL CONTORNO E SOGGETTA A UN CARICO UNIFORM. RIPARTITO

Viene analizzato l'esempio riportato dal Manuale di ingegneria civile – ed. Cremonese pag. 113 (1982). Una piastra rettangolare, di larghezza a=100 cm e lunghezza b=160 cm, spessore costante s=1 cm, incastrata lungo i quattro lati, è soggetta ad un carico uniformemente ripartito su tutta la piastra di intensità q=-1.000 kg/mq. Il materiale (acciaio) ha le seguenti caratteristiche:

- modulo elastico longitudinale E=1.000.000 kg/cmq;
- coefficiente di Poisson = 0,2.

Determinare lo spostamento e i momenti flettenti M_x e M_y nel punto centrale C della piastra.



⁵ I coefficienti c_f, c₁, c₂, funzione del rapporto b/a tra i lati (con b≥a), del tipo di vincolo e di carico, raggruppano i termini dello sviluppo in serie di funzioni (o di Fourier).

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 33 di 41
---	----------------------	---------------

La rigidezza flessionale della piastra vale:

$$D = \frac{E \cdot s^3}{12(1-\nu^2)} = 86.805,56 \text{ kgcm} = 868,06 \text{ kgm}$$

La soluzione riportata nel manuale sopra citato è:

$$w_c = c_f \cdot \frac{q \cdot a^4}{D} = 0,0023 \cdot \frac{1000 \cdot 1^4}{868,06} = 0,00265 \text{ m} = 0,265 \text{ cm}$$

$$M_{x,c} = (c_1 + \nu \cdot c_2) \cdot q \cdot a^2 = (0,0358 + 0,2 \cdot 0,0086) \cdot 1000 \cdot 1^2 = 37,52 \text{ kgm/m}$$

$$M_{y,c} = (c_2 + \nu \cdot c_1) \cdot q \cdot a^2 = (0,0086 + 0,2 \cdot 0,0358) \cdot 1000 \cdot 1^2 = 15,76 \text{ kgm/m}$$

Con *Piastre.Az* viene risolto il problema con il metodo degli elementi finiti, assumendo l'elemento di Kirchhoff e una mesh automatica 10x16 per un totale di 160 elementi finiti quadrati di lato 10 cm.

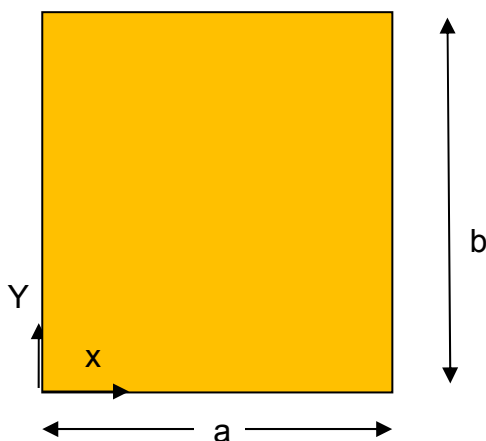
Confronto dei risultati:

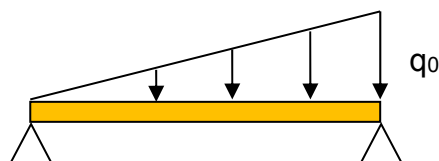
grandezza	Manuale	Piastre.Az	Diff. %
w_c (cm)	0,265	0,2672	0,83%
$M_{x,c}$ (kgm/m)	37,52	38,29	2,05%
$M_{y,c}$ (kgm/m)	15,76	15,84	0,51%

Come si può notare i risultati ottenuti con *Piastre.Az* sono in accordo con quelli riportati nella fonte sopra citata nonché con quelli ottenibili utilizzando altri software analoghi esistenti in commercio (tipo CDSWin).

N. 4 – PIASTRA RETTANGOLARE APPOGGIATA AL CONTORNO E SOGGETTA A UN CARICO IDROSTATICO

Consideriamo una piastra rettangolare, di larghezza $a=500$ cm e lunghezza $b=700$ cm, spessore costante $s=20$ cm, appoggiata lungo i quattro lati, soggetta ad un carico idrostatico lungo x con $q_0=10.000$ kg/mq.





Il materiale (C.A.) ha le seguenti caratteristiche:

- modulo elastico longitudinale $E=280.000 \text{ kg/cmq}$;
- coefficiente di Poisson = 0,3.

Determinare gli spostamenti e i momenti flettenti M_x e M_y nei punti di ascissa 0,25a, 0,5a, 0,6a, 0,75a e ordinata 0,5b.

La rigidezza flessionale della piastra vale:

$$D = \frac{E \cdot s^3}{12(1-\nu^2)} = 1.871.345,03 \text{ kgm}$$

La soluzione che si ottiene utilizzando tabelle e formule riportate in letteratura⁶ è la seguente:

$$w_c = \alpha \cdot \frac{q_0 \cdot a^4}{D}$$

$$M_x = \beta \cdot q_0 \cdot a^2$$

$$M_y = \beta_1 \cdot q_0 \cdot a^2$$

con i coefficienti, funzioni del rapporto $b/a=1,4$, che valgono:

Coeff.	y=0,5b			
	x=0,25a	x=0,5a	x=0,6a	x=0,75a
α	0,00235	0,00353	0,00348	0,00273
β	0,0221	0,0376	0,0402	0,0367
β_1	0,016	0,0253	0,0254	0,0212

Effettuando i calcoli si ottiene:

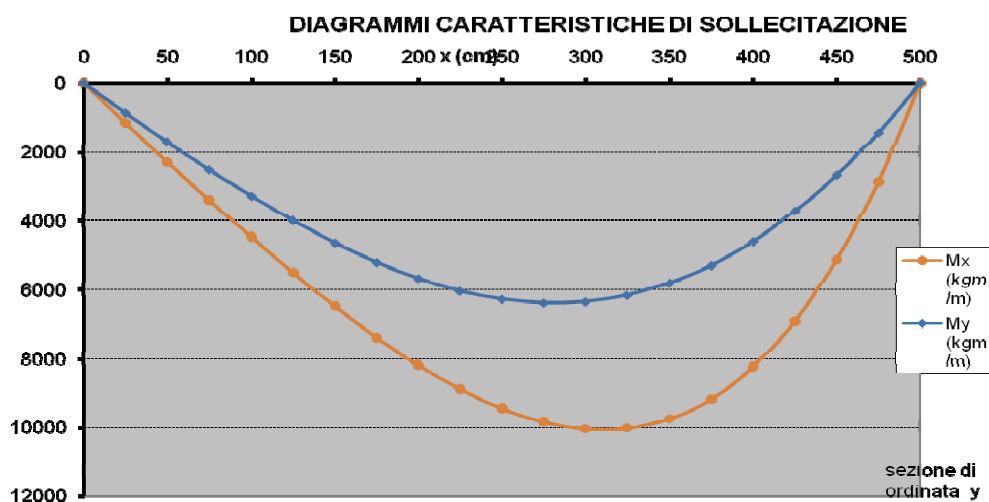
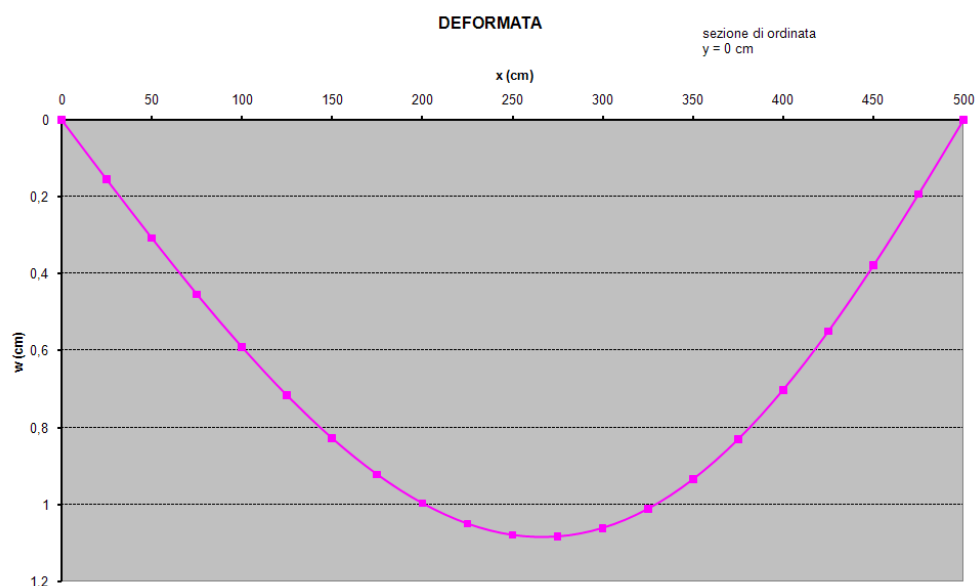
grand.	y=0,5b			
	x=0,25a	x=0,5a	x=0,6a	x=0,75a
w (cm)	0,7160	1,0755	1,0603	0,8318
M_x (kgm/m)	5.525	9.400	10.050	9.175
M_y (kgm/m)	4.000	6.325	6.350	5.300

Con *Piastre.Az* si calcola con il metodo di sviluppo in serie semplice, assumendo 20 termini delle serie e $N_{px}=N_{py}=20$. Si ottengono i seguenti risultati:

grand.	y=0,5b			
	x=0,25a	x=0,5a	x=0,6a	x=0,75a
w (cm)	0,7167	1,0793	1,0611	0,8309
M_x (kgm/m)	5.513	9.443	10.044	9.170
M_y (kgm/m)	3.997	6.277	6.349	5.293

⁶ S. Timoshenko e S. Woinowsky-Krieger – *Theory of Plates and Shells*

Come si può notare i risultati ottenuti con *Piastre.Az* sono in perfetto accordo con quelli ottenuti con le formule in letteratura.



N. 5 – PIASTRA CIRCOLARE

Viene analizzato l'esempio riportato dal Manuale di ingegneria civile – ed. Cremonese pag. 114 (1982). Una piastra circolare, di raggio $R=150$ cm, spessore costante $s=3$ cm, è soggetta a diverse condizioni di vincolo e di carico:

- carico uniformemente ripartito $q=10.000$ kg/mq e contorno incastrato;
- carico concentrato $P=2.000$ kg in corrispondenza del centro della piastra e contorno incastrato;
- carico uniformemente ripartito q e contorno appoggiato.

Il materiale (acciaio) ha le seguenti caratteristiche:

- modulo elastico longitudinale $E=2.100.000$ kg/cmq;
- coefficiente di Poisson = 0,3.

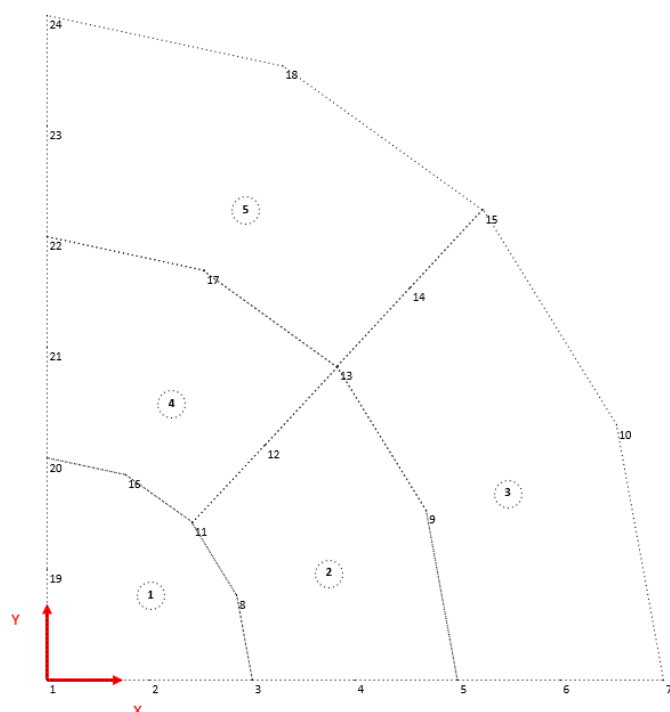
Determinare lo spostamento nel punto centrale C della piastra.

Confronto dei risultati (con *Piastre.Az* il problema è risolto con la soluzione analitica in forma chiusa):

w_c (cm)	Manuale	Piastre.Az	Diff. %
Caso a	1,523	1,5234	0,03%
Caso b	0,1725	0,1724	0,06%
Caso c	6,2090	6,2109	0,03%

Come si può notare i risultati ottenuti con *Piastre.Az* sono praticamente coincidenti con quelli riportati nella fonte sopra citata.

Si risolve ora la piastra con il FEM con mesh automatica di elementi quadrangolari a 8 nodi. Si considera per simmetria $\frac{1}{4}$ di piastra e la seguente suddivisione in 5 elementi finiti ottenuta impostando $N_c=2$ (numero di file di elementi lungo la circonferenza) e $N_R=3$ (numero di file di elementi lungo il raggio) come parametri per la mesh automatica.



Le coordinate dei 24 nodi, calcolate dal software, e le condizioni di vincolo da imporre (caso a) sono le seguenti:

24		n° di nodi N_n							N.B. I nodi hanno numerazione da 1 fino a N_n	
COORDINATE NODI			VINCOLI ESTERNI E MOVIMENTI IMPEDITI (SI/NO)							
Nodo	X (cm)	Y (cm)	Nodo con vincolo esterno?	Traslaz lungo Z	Rotaz attorno a X	Rotaz attorno a Y	Rotaz attorno a N	alfa (°)		
1	0,0000	0,0000	SI	NO	SI	SI	NO			
2	25,0000	0,0000	SI	NO	SI	NO	NO			
3	50,0000	0,0000	SI	NO	SI	NO	NO			
4	75,0000	0,0000	SI	NO	SI	NO	NO			
5	100,0000	0,0000	SI	NO	SI	NO	NO			
6	125,0000	0,0000	SI	NO	SI	NO	NO			
7	150,0000	0,0000	SI	SI	SI	SI	NO			
8	46,1940	19,1342	NO							
9	92,3880	38,2683	NO							
10	138,5819	57,4025	SI	SI	SI	SI	NO			

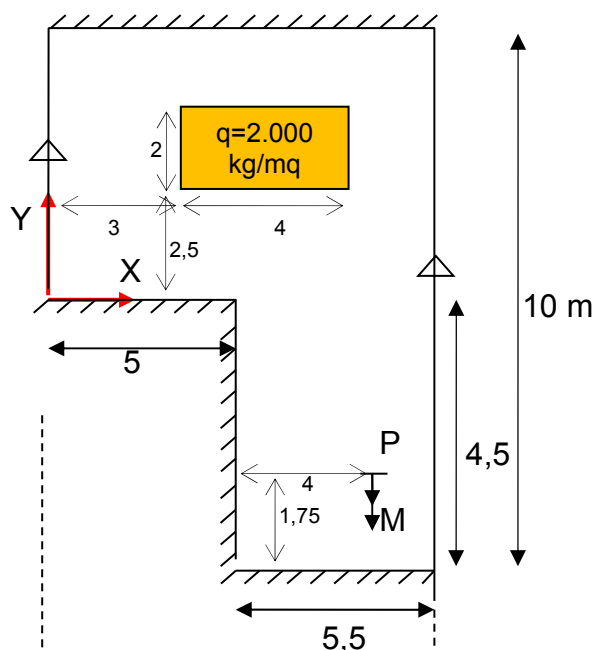
11	35,3553	35,3553	NO					
12	53,0330	53,0330	NO					
13	70,7107	70,7107	NO					
14	88,3883	88,3883	NO					
15	106,0660	106,0660	SI	SI	SI	SI	NO	
16	19,1342	46,1940	NO					
17	38,2683	92,3880	NO					
18	57,4025	138,5819	SI	SI	SI	SI	NO	
19	0,0000	25,0000	SI	NO	NO	SI	NO	
20	0,0000	50,0000	SI	NO	NO	SI	NO	
21	0,0000	75,0000	SI	NO	NO	SI	NO	
22	0,0000	100,0000	SI	NO	NO	SI	NO	
23	0,0000	125,0000	SI	NO	NO	SI	NO	
24	0,0000	150,0000	SI	SI	SI	SI	NO	

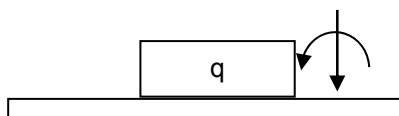
A calcolo eseguito (con 3 punti di Gauss per l'integrazione numerica della matrice di rigidità flessionale e 2 punti per quella a taglio) si ottiene uno spostamento al centro (nodo 1) di **1,4578 cm**, leggermente più basso di quello ottenuto con la soluzione analitica. Ciò è legato al fatto che, oltre a considerare una suddivisione in pochi elementi finiti, il modello di piastra utilizzato con gli elementi iso-parametri a 6, 8 e 9 nodi è quello di Mindlin in cui si tiene conto delle deformazioni a taglio.

Se si vuole risolvere anche il caso c), l'input rimane invariato tranne per i vincoli da inserire nei nodi 7, 10, 15, 18 e 24. Nel nodo 7 non è più impedita la rotazione attorno a Y, nel nodo 24 non è più impedita la rotazione attorno a X; nei nodi 10, 15 e 18 occorre inserire come impedita la rotazione attorno a N con l'angolo alfa pari rispettivamente a $-67,5^\circ$, -45° e $-22,5^\circ$.

N. 6 – PIASTRA DI FORMA COMPLESSA CON LATI PARALLELI AGLI ASSI XY, VARIAMENTE VINCOLATA E SOGGETTA A CARICHI CONCENTRATI E RIPARTITI

Si consideri la seguente piastra in C.A., spessore 25 cm, avente lati paralleli agli assi XY e vincolata al contorno con incastri e appoggi semplici:

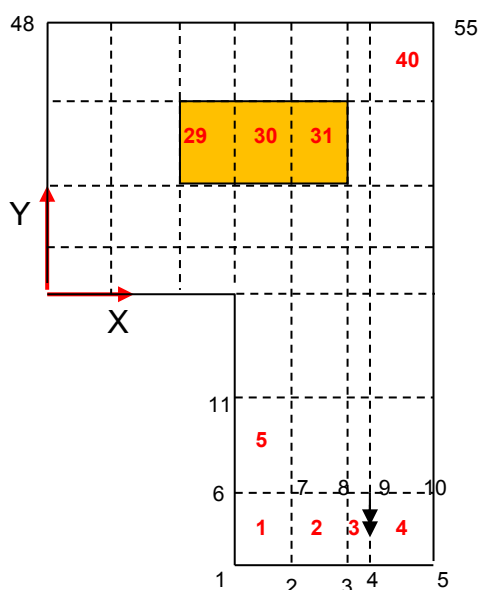




La piastra è soggetta a un carico uniformemente ripartito su una porzione rettangolare e a un carico concentrato $P=5.000 \text{ kg}$ e un coppia concentrata $M=4.000 \text{ kgm}$ applicati nel punto indicato in figura.

Si fissa il sistema di riferimento globale XY (asse Z verso l'alto): è opportuno fissarlo in uno spigolo della piastra. La piastra viene risolta con il metodo degli elementi finiti con l'elemento rettangolare di Kirchhoff. Occorre definire le dividenti che individuano gli elementi finiti di forma rettangolare. A tal proposito è opportuno che nel punto di applicazione del carico concentrato ci sia un nodo e che l'area di impronta del carico uniforme sia circonscritta da dividenti (in modo che gli elementi finiti che si ottengono siano o scarichi del tutto o interessati da un carico uniforme su tutta l'area).

Si adottano quindi le dividenti, parallele all'asse X e Y, come in figura sottostante (possono ovviamente essere adottate altre dividenti purché si formino elementi finiti rettangolari e che elementi finiti contigui abbiano nodi coincidenti):



Si numerano i nodi e gli elementi così determinati. Si ottengono 55 nodi e 40 elementi finiti. Per ogni nodo si determinano le coordinate X, Y e, per i nodi esterni, i movimenti impediti in base al vincolo al contorno presente:

Nodo	X (cm)	Y (cm)	Vincolo esterno?	Spostamento lungo Z impedito?	Rotazione attorno a X impedita?	Rotazione attorno a Y impedita?
1	500	-450	SI	SI	SI	SI
2	600	-450	SI	SI	NO	SI
3	700	-450	SI	SI	NO	SI
4	900	-450	SI	SI	NO	SI
5	1050	-450	SI	SI	SI	SI
6	500	-275	SI	SI	SI	NO
7	600	-275	NO			
8	700	-275	NO			
...

55	1050	550	SI	SI	SI	SI
----	------	-----	----	----	----	----

Si determina la matrice di incidenza che riporta per ogni elemento finito i 4 nodi che lo definiscono:

Elem. finito	1° nodo	2° nodo	3° nodo	4° nodo
1	6	7	2	1
2	7	8	3	2
3	8	9	4	3
4	9	10	5	4
5	11	12	7	6
....
40	54	55	47	46

I carichi nodali da inserire riguardano il solo nodo 9, dove si inserirà il valore di P, con segno negativo in quanto discorde con l'asse Z, e il valore di M, che è un momento di tipo M_y (asse vettore parallelo all'asse y), con segno negativo in quanto l'asse vettore è discorde all'asse Y.

I carichi distribuiti che interessano gli elementi finiti sono:

- q per elementi 29, 30 e 31 (segno negativo)
- zero per tutti gli altri elementi.

Finito il lavoro preparatorio si può iniziare l'input in *Piastre.Az* e avviare il calcolo. Si omettono i risultati.

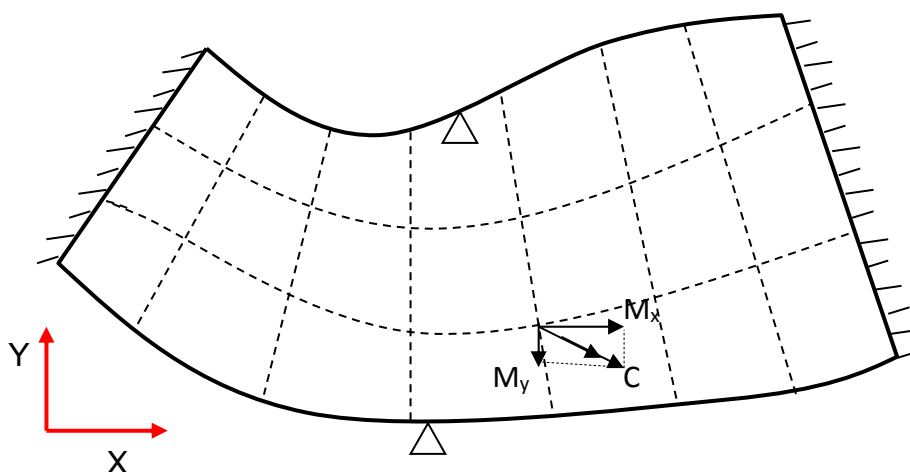
Osservazione

Il metodo sopra esposto (input manuale) può essere adottato per qualunque tipo di piastra, anche con contorni curvilinei con elementi iso-parametrici a 8 o 9 nodi.

Quando il software consente di effettuare la mesh automatica, si generano **automaticamente** le dividenti, le coordinate dei nodi e la matrice di incidenza, con notevole semplificazione e velocizzazione dell'input.

N. 7 – PIASTRA CON LATI CURVI, VARIAMENTE VINCOLATA E SOGGETTA A CARICHI CONCENTRATI E RIPARTITI

Nel caso più generale di piastra con contorni curvilinei, comunque vincolata e comunque caricata occorre procedere con la mesh manuale, dividendo la piastra in elementi finiti di forma es. quadrangolare, numerando i nodi così individuati, determinando le loro coordinate assolute, costruendo la matrice di incidenza.



Piastre.Az 4.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 40 di 41
--	----------------------	---------------

In presenza di carichi concentrati e/o distribuiti conviene far corrispondere un nodo in corrispondenza dei carichi concentrati e fare in modo che i carichi distribuiti interessino per intero uno o più elementi finiti, di modo che un dato elemento finito o non è interessato da carico distribuito o è interamente soggetto al carico distribuito.

Nel caso es. della coppia C indicata in figura occorre procedere alla sua scomposizione lungo gli assi X e Y e ad inserire, nel pannello CARICHI NODALI, la componente M_x con valore positivo e la componente M_y con valore negativo.

Piastre.Az 4.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 41 di 41
---	----------------------	---------------

Bibliografia

- [1] Zingone G. – *Risoluzione del problema della piastra per sviluppo in serie di funzioni* – Dispensa del corso di Tecnica della Costruzioni Università di Palermo
- [2] Giangreco E. – *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 3 - Liguori editore, Napoli, 1969
- [3] La Mendola L. – *Applicazione del metodo degli Elementi Finiti ai sistemi mono e bi-dimensionali* – Quaderni di Tecnica delle Costruzioni Università di Palermo A.A. 1989-90
- [4] Polizzotto C. – *Scienza delle costruzioni* – Centro stampa Facoltà di Ingegneria di Palermo, 1980
- [5] Baragetti S. – *Il metodo degli elementi finiti* – Facoltà di Ingegneria Università di Bergamo
- [6] Gugliotta A. – *Elementi finiti* – Dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino (maggio 2002), Otto editore
- [7] D.M. 11/02/1992 – *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [8] D.M. 09/01/1996 – *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [9] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni* (NTC)
- [10] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- [11] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*