

PLINTO DI FONDAZIONE

Programma

PLIN

per personal computer

Manuale introduttivo
(Settembre 2019)

Sono vietate le riproduzioni non autorizzate

Le eventuali riproduzioni di tutto o parte del presente documento dovranno riportare ben evidenziato l'autore di seguito riportato.

PRESENTAZIONE

Il programma PLIN esegue:

- il calcolo delle sollecitazioni;
- la verifica (SLU);
- progetta le armature;
- fornisce il disegno della carpenteria e delle armature;
- fornisce il computo metrico;

per i plinti di fondazione a base rettangolare.

L'AUTORE DEL PROGRAMMA
ing. Tiziano Gaddi

GADDI software
via Era 15
23826 Mandello del Lario (LC)
ITALY

e-mail **gaddissoftware@tin.it**

CARATTERISTICHE DEL PROGRAMMA E AVVERTIMENTI PER L'USO

Il programma non è garantito dagli autori ne loro rappresentanti. Gli autori non garantiscono che le funzioni contenute nel programma soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le loro combinazioni. L'utente dovrà inoltre controllare il programma ed ovviare a proprie spese ad eventuali errori o malfunzionamenti.

Il programma può funzionare solo con l'ausilio del supporto su cui viene fornito.

La perdita o l'alterazione del programma o di parte di esso, o del supporto, non dà diritto alla loro sostituzione. L'utente è responsabile della buona conservazione del programma e del supporto.

Capitolo 1

INTRODUZIONE ALLA VERSIONE 10.20

1.1) Premessa

Questo manuale introduce all'uso di PLIN.

1.2) Aggiornamenti

1.2.2) Aggiornamento alla versione 10.20

Sono stati aggiunti i fattori zcu, zc, zq, zy per il calcolo della capacità portante.
E' stato velocizzato il ridisegno

1.3) Il menù di PLIN

I comandi di PLIN sono accessibili attraverso il menù a tendina.
Altri particolari comandi del menù contesto sono accessibili durante l'input nelle finestre di dialogo con il tasto destro del mouse.

1.3.1) Il menu File

1.3.2) Il menu Inserisci

1.3.3) Il menu Analisi

1.3.4) Il menu Unità

Il menu **Unità** contiene il sottomenu **Unità di Misura**. Le unità di misura sono le informazioni necessarie per la visualizzazione delle grandezze non adimensionali.
Le unità di misura sono personalizzabili dall'utente.

1.3.4.1) Il menù Unità\ Unità di Misura \...

Il comando di menù **Unità\Unità di Misura\Carica Unità...** permette di caricare le unità di misura da un file all'interno del documento corrente.

Il comando di menù **Unità\Unità di Misura\Salva Unità....** permette di registrare gli stili del documento corrente su file (compreso il file AutoLoad...).

Le unità di misura del documento corrente sono modificabili con i comandi di menu **Unità\Unità di Misura\... .**

Le unità di misura possono essere modificati, salvati su di un file e richiamati dal file in qualunque momento durante l'elaborazione. I comandi sopra detti permettono all'utente di crearsi uno o più file delle unità di misura ed applicare le unità al documento in elaborazione a secondo dell'esigenza.

1.4) Come comporre una relazione

Visualizzare i dati e/o i risultati con il comando di menu **Analisi\VisualizzaDatiERisultati** (o analoghi per soli dati o i soli risultati), selezionare il testo con il mouse (o analogo) tenendo premuto il tasto di sinistra e trascinando e copiare il testo selezionato nella clip con i tasti **Ctrl+C** (Copia) quindi incollare in un "programma" di testi quale ad esempio **Word** con il comando **Ctrl+V** (Incolla).

Per i grafici vedi manuale introduttivo del programma grafico CadNostrum.

E' comunque possibile usare uno strumento di cattura quale ad esempio **Snipping Tool** per selezionare il grafico e incollarlo nel "programma" di testi con il comando **Ctrl+V** o analogo (Incolla).

Capitolo 2

IL PROGRAMMA PLIN

2.1) Introduzione

Il programma PLIN permette il progetto, il calcolo, la verifica e il disegno dei plinti di fondazione a base rettangolare, con il metodo agli stati limite ultimi (SLU).

Con il comando **Inserisci\IMPOSTA CALCOLO PLINTO** si imposta il calcolo.

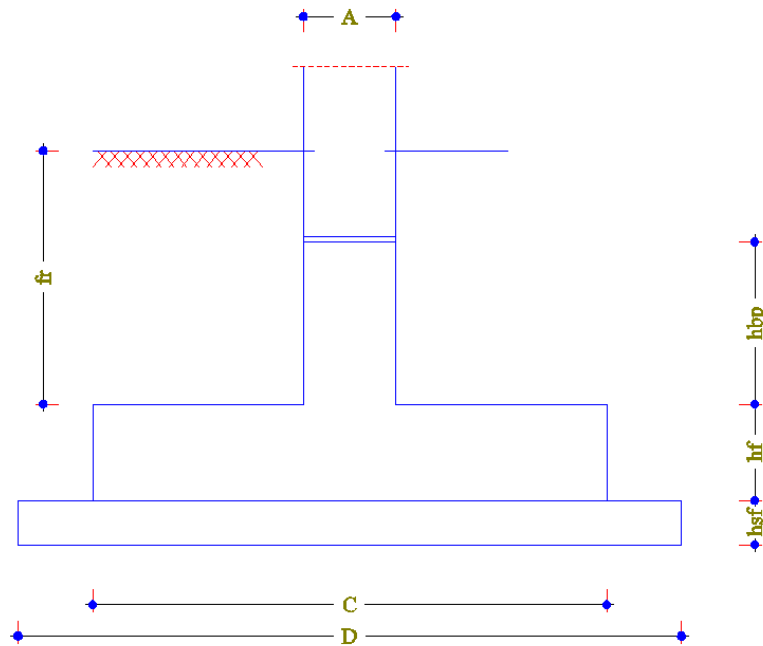
In particolare:

- si abilita (o meno) la verifica di equilibrio al ribaltamento (EQU);
- si seleziona l'approccio 1 e/o l'approccio 2 per la verifica di stabilità fondazione-terreno (GEO e STR);
- si seleziona per il terreno in condizioni non drenate e/o drenate;
- si seleziona la convenzione da usare per le azioni da assegnare (azioni di INPUT) tra quella scalare e quella vettoriale;
- si può abilitare per la fondazione armata;
- si dichiara se il peso del terreno sovrastante è da considerare nei permanenti G1 o nei permanenti G2.

Le varie selezioni e scelte dei tipi di calcolo e verifica sono a carico dell'utente il quale nella strategia di verifica ne assume le scelte.

2.2) Descrizione geometria plinto

Assegnato il sistema di riferimento destrorso xyz di cui xy nel piano della fondazione e z asse verticale verso l'alto, sono da fornire le grandezze di seguito riportate:



- A_x , dimensione del lato della sezione del pilastro parallelo all'asse x ;
- A_y , dimensione del lato della sezione del pilastro parallelo all'asse y ;
- C_x , dimensione del lato della fondazione parallelo all'asse x ;
- C_y , dimensione del lato della fondazione parallelo all'asse y ;
- D_x , dimensione del lato della sottofondazione parallelo all'asse x ;
- D_y , dimensione del lato della sottofondazione parallelo all'asse y ;
- h_f , altezza della fondazione (spessore);
- h_{sf} , altezza della sottofondazione (spessore);
- F_r , franco fondazione, differenza tra la quota del terreno o pavimento e la quota dell'estradosso fondazione;
- q_u , quota estradosso fondazione (serve solo per il disegno);
- h_{bp} , altezza base pilastro (parte di pilastro da considerare nel volume plinto e peso sulla fondazione).

2.3) I materiali

I materiali di cui assegnare i valori sono:

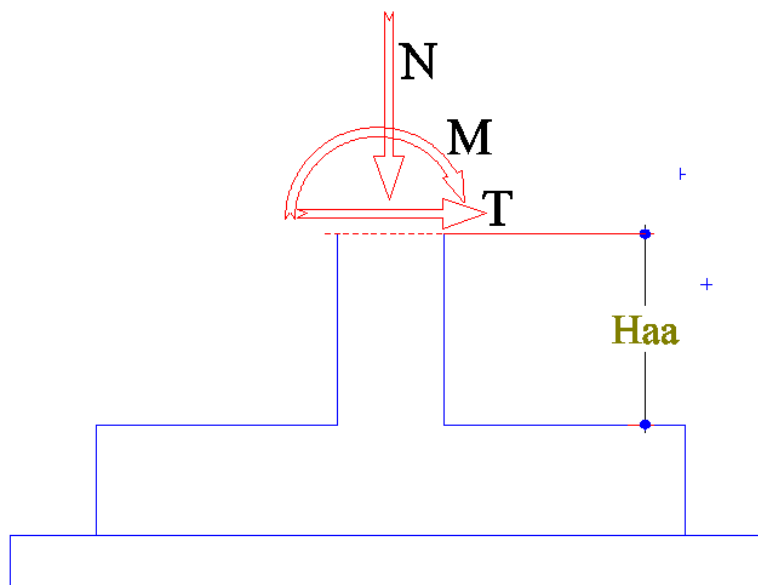
- a) il calcestruzzo, i cui valori possono essere assegnati selezionando la classe di resistenza;
- b) l'acciaio di armatura, i cui valori possono essere assegnati selezionando la classe di resistenza;
- c) le caratteristiche del terreno, in particolare:
 - Il peso specifico del terreno sopra il piano di posa $pstS$ e sotto il piano di posa $pstI$;
 - i valori caratteristici c_{uk} della resistenza a taglio non drenata per il calcolo della portanza in condizioni non drenate del terreno;
 - i valori caratteristici c'_k della coesione efficace e ϕ'_k angolo di attrito del terreno per il calcolo della portanza in condizioni drenate del terreno;
 - il valore caratteristico $c_{uk,h}$ della resistenza a taglio tra fondazione e terreno per il calcolo della resistenza allo scorrimento in condizioni non drenate del terreno;
 - il valore caratteristico $\phi'_{k,h}$ dell'angolo di attrito tra fondazione e terreno per il calcolo della resistenza allo scorrimento in condizioni drenate del terreno.

2.4) Coefficienti parziali dei parametri geotecnici e di capacità portante

I coefficienti parziali dei parametri geotecnici γ_M sono da assegnare separatamente per la verifica EQU, per l'Approccio 1 combinazione 1, per l'Approccio 1 combinazione 2 e per l'Approccio 2 relativamente ai valori $pstS$, $pstI$, c_{uk} , c'_k e ϕ'_k . I coefficienti parziali di $c_{uk,h}$ e $\phi'_{k,h}$ sono presi uguali ai rispettivi di c_{uk} e ϕ'_k .

Analogamente sono da assegnare i coefficienti parziali γ_R per la capacità portante e per la capacità di resistenza allo scorrimento

2.5) Le azioni



Sono considerate le seguenti azioni caratteristiche:

- il peso del plinto, conteggiato tramite il suo peso specifico;
- il peso del terreno sovrastante la fondazione del plinto, conteggiato tramite il suo peso specifico;
- un massimo di 18 azioni (N,M,T), permanenti e/o variabili, trasmesse dal pilastro, di cui la prima obbligatoriamente permanente che viene considerata nei permanenti G1 e la seconda obbligatoriamente permanente che viene considerata nei permanenti G2. Le azioni N,M,T sono considerate applicate ad un'altezza pari ad H_{aa} misurata a partire dall'estradosso fondazione e positiva verso l'alto (per azioni applicate a filo estradosso fondazione si deve dunque assegnare $H_{aa}=0$). Le azioni N,M,T sono considerate secondo la convenzione selezionata dall'utente.

Le azioni agenti, in alternativa all'input da finestra di dialogo, possono assegnarsi leggendo i dati da un file di testo con il comando **Inserisci\CarichiDaFile**.

L'esempio sotto riportato illustra il contenuto del file.


```

<>
START_PLINTO_LOAD_FILE
<>
LOAD_AZ_PIL
0.00 1100.00 1200.00 1300.00 1400.00 1500.00
0.00 2100.00 2200.00 2300.00 2400.00 2500.00
0.00 3100.00 3200.00 3300.00 3400.00 3500.00
0.00 4100.00 4200.00 4300.00 4400.00 4500.00
0.00 5100.00 5200.00 5300.00 5400.00 5500.00
...
<>
END_PLINTO_LOAD_FILE

```

dove:

```

<>                codice di inizio blocco (obbligatorio)
START_PLINTO_LOAD_FILE  codice di inizio file (obbligatorio)
END_PLINTO_LOAD_FILE   codice di fine file (obbligatorio)
LOAD_AZ_PIL           codice blocco dati carichi trasmessi dal pilastro

```

Ogni riga di carico deve contenere i valori per: $h_{aa}(m)$, $N_z(N)$, $T_x(N)$, $T_y(N)$, $M_x(Nm)$ e $M_y(Nm)$ secondo la convenzione selezionata dall'utente. I numeri devono essere separati da uno o più spazi.

Se il blocco dati `LOAD_AZ_PIL` è presente nel file i rispettivi dati rimpiazzano quelli del DataBase. Si suggerisce di tenere come estensione `.QFdS` per questi tipi di file.

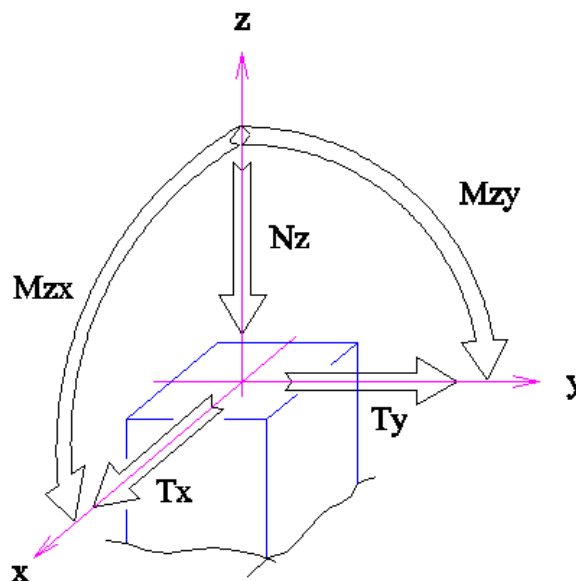
2.5.1) Convenzione per le azioni

Sono considerate tre convenzioni per le azioni, valide per l'assegnazione dei dati delle azioni e la restituzione degli stessi:

- convenzione scalare per le azioni;
- convenzione vettoriale per le azioni applicate con N_z equiverso l'asse z ;
- convenzione vettoriale per le azioni applicate con N_z controverso l'asse z .

La convenzione scalare è poi usata in tutte le restanti manifestazioni di PLIN, salvo come sopra detto, per l'input e l'output delle azioni.

a) Convenzione scalare per le azioni



Coerentemente con la figura soprastante, le convenzioni sono:

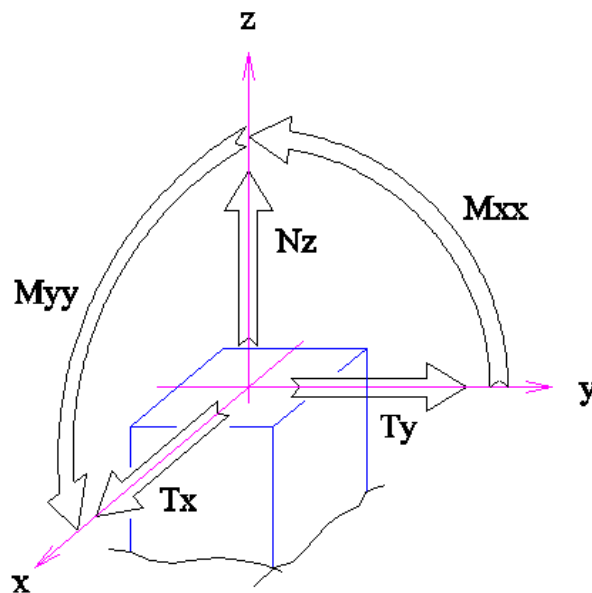
T_x , azione orizzontale in direzione x (verso $+x$) ;
 T_y , azione orizzontale in direzione y (verso $+y$) ;
 N_z , azione assiale verticale, positiva se diretta verso il basso (compressione);
 M_{zx} , momento flettente nel piano xz , positivo se ruota da $+z$ a $+x$;
 M_{zy} , momento flettente nel piano yz , positivo se ruota da $+z$ a $+y$.

Le forze orizzontali T_x e T_y sono tali che una azione orizzontale positiva provoca un incremento positivo del momento sul piano di fondazione. In particolare, alla base (intradosso) della fondazione, risulta:

$$\begin{aligned}
 M_{zx}(f) &= M_{zx} + T_x \cdot (h_{aa} + h_f); \\
 M_{zy}(f) &= M_{zy} + T_y \cdot (h_{aa} + h_f);
 \end{aligned}$$

dove h_{aa} individua la posizione di applicazione dell'azione, misurata dall'estradosso fondazione, positiva verso l'alto.

b) Convenzione vettoriale per le azioni con N_z equiverso l'asse z



Coerentemente con la figura soprastante, le convenzioni sono:

T_x , azione orizzontale in direzione x (verso $+x$) ;
 T_y , azione orizzontale in direzione y (verso $+y$) ;
 N_z , azione assiale verticale, positiva se diretta verso l'alto (trazione);
 M_{xx} , vettore momento diretto come x (momento nel piano yz , positivo se ruota da $+y$ a $+z$);
 M_{yy} , vettore momento diretto come y (momento nel piano xz , positivo se ruota da $+z$ a $+x$);

Le forze orizzontali T_x e T_y sono tali che un'azione positiva di T_x provoca un incremento del momento M_{yy} e un'azione positiva di T_y provoca un incremento negativo del momento M_{xx} , sul piano di fondazione. In particolare, alla base (intradosso) della fondazione, risulta:

$$M_{xx}(f) = M_{xx} - T_y \cdot (h_{aa} + h_f);$$

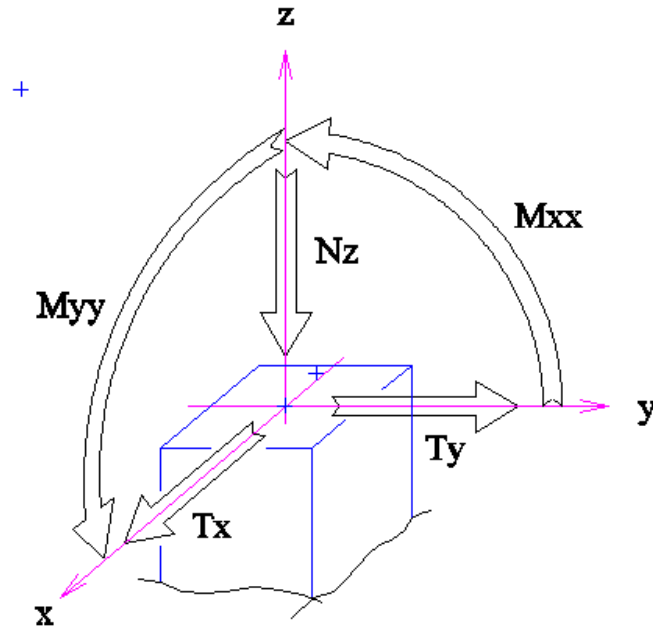
$$M_{yy}(f) = M_{yy} + T_x \cdot (h_{aa} + h_f).$$

È anche:

$$M_{xx} = M_{yz} = - M_{zy}$$

$$M_{yy} = M_{zx} = - M_{xz}$$

c) Convenzione vettoriale per le azioni con Nz controverso l'asse z



Coerentemente con la figura soprastante, le convenzioni sono:

T_x , azione orizzontale in direzione x (verso $+x$);

T_y , azione orizzontale in direzione y (verso $+y$);

N_z , azione assiale verticale, positiva se diretta verso il basso (compressione);

M_{xx} , vettore momento diretto come x (momento nel piano yz , positivo se ruota da $+y$ a $+z$);

M_{yy} , vettore momento diretto come y (momento nel piano xz , positivo se ruota da $+z$ a $+x$);

Le forze orizzontali T_x e T_y sono tali che un'azione positiva di T_x provoca un incremento del momento M_{yy} e un'azione positiva di T_y provoca un incremento negativo del momento M_{xx} , sul piano di fondazione. In particolare, alla base (intradosso) della fondazione, risulta:

$$M_{xx}(f) = M_{xx} - T_y \cdot (h_{aa} + h_f);$$

$$M_{yy}(f) = M_{yy} + T_x \cdot (h_{aa} + h_f).$$

È anche:

$$M_{xx} = M_{yz} = - M_{zy}$$

$$M_{yy} = M_{zx} = - M_{xz}$$

2.6) Coefficienti di combinazione delle azioni

Le azioni sono combinate attraverso i coefficienti di combinazione a ottenere le azioni combinate di verifica.

In PLIN i coefficienti per le combinazione contengono sia i valori dei coefficienti di combinazione ψ che i coefficienti parziali per le azioni γ_F .

Per ogni azione combinata di verifica viene eseguito il calcolo e la verifica.

Sono ammesse un massimo di 40 combinazioni.

Ogni azione combinata è ottenuta combinando, con i coefficienti di combinazione, i carichi permanenti quali peso plinto (G1), peso terreno portato (G1 o G2) e gli altri carichi permanenti e variabili trasmessi dal pilastro.

2.7) Tipo sottofondazione plinto

La sottofondazione del plinto può essere dichiarata non armata o armata. Se dichiarata armata si eseguono le verifiche a flessione anche della sottofondazione.

Con sottofondazione armata la verifica a punzonamento è fatta considerando fondazione e sottofondazione come corpo unico.

Fare attenzione, il programma PLIN non prevede armature superiori per la sottofondazione.

2.8) Armature del plinto

Il programma prevede otto posizioni di armature disposte nel plinto:

- pos. 1: armature superiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 2: armature superiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse y;
- pos. 3: armature inferiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 4: armature inferiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse y;
- pos. 5: armature di ripresa del pilastro;
- pos. 6: staffe di contenimento delle armature di ripresa del pilastro;
- pos. 7: armature inferiori della sottofondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 8: armature inferiori della sottofondazione, disposte parallelamente all'asse y.

Le armature di pos. 1, 2, 3 e 4 possono posizionarsi come indicato nel programma di calcolo (vedere comando **Analisi\Assegna armature**).

Nelle opzioni (comando **Inserisci\Opzioni\Disposizioni armature**) è possibile selezionare la disposizione delle barre di armatura nella fondazione con privilegio sotto il pilastro o distribuite.

2.9) Progetto delle armature

Il programma PLIN prevede il dimensionamento delle armature del plinto. Armature che vengono valutate secondo criteri propri del programma e disposti nel plinto. In

taluni casi particolari, può succedere che queste armature non siano sufficienti: occorre assegnarle da parte dell'utente. Il calcolo di verifica, secondo i criteri del programma PLIN, indica se le dimensioni del plinto con le sue armature possono considerarsi sufficienti a sopportare i carichi assegnati. La disposizione grafica delle armature è indicativa.

Le armature del plinto possono comunque essere assegnate e/o modificate, indipendentemente da quelle proposte dal programma, con il comando **Analisi\AssegnaArmature**.

2.10) Le verifiche

I metodi di calcolo e verifica dei plinti non sono unificati. Il presente programma esegue le verifiche nelle sole parti e secondo i criteri sotto riportati.

Il programma calcola le tensioni sulla sottofondazione e sul terreno con l'ipotesi di sezione piana con materiale a comportamento elastico lineare in compressione e non reagente a trazione, si considera quindi una fondazione rigida ed una distribuzione lineare della pressione di contatto sul piano di posa.

Esegue la verifica al ribaltamento.

Esegue la verifica della portanza della fondazione e della resistenza allo scorrimento.

Esegue la verifica a punzonamento.

Esegue la verifica a flessione in direzione x (momento agente sulla sezione normale all'asse x) e la verifica a flessione in direzione y (momento agente sulla sezione normale all'asse y) della fondazione e della sottofondazione (per quest'ultima se dichiarata armata).

Nel calcolo l'asse delle armature sono poste a **ric** cm dal bordo, valore preimpostato a 4 cm e modificabile dall'utente con il comando **Inserisci\Opzioni\Parametri**.

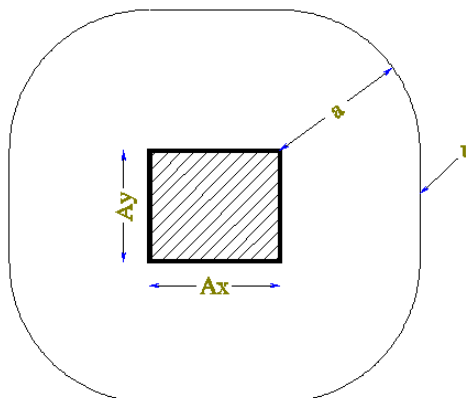
2.11) Verifica a punzonamento

E' eseguita la verifica a punzonamento per la fondazione.

La verifica a punzonamento è soddisfatta se risulta

$$V_{Ed,ver} \leq V_{Rd}$$

lungo il perimetro di verifica u .



Il perimetro di verifica vale:

$$u = 2 (A_x + A_y) + 2 \pi a$$

e la corrispondente area a_u racchiusa all'interno del perimetro di verifica u , vale

$$a_u = A_x A_y + 2 (A_x + A_y) a + \pi a^2$$

In PLIN la verifica è eseguita per 4 perimetri u corrispondenti ai seguenti valori di a :

$$a = 0,25 a_{\max},$$

$$a = 0,50 a_{\max},$$

$$a = 0,75 a_{\max},$$

$$a = 1,00 a_{\max},$$

dove a_{\max} è calcolato con la seguente espressione

$$a_{\max} = \text{MIN} ((c_x - a_x)/2 - d/2, (c_y - a_y)/2 - d/2),$$

e comunque con

$$a_{\max} \geq \text{MIN} (c_x - a_x, c_y - a_y)/4,$$

dove d è l'altezza utile (media) della fondazione, assunto pari a:

$$d = h_f - \text{ric.}$$

La forza di punzonamento ridotta dalla pressione verso l'alto, all'interno del perimetro di verifica, trasmessa dal suolo (o sottofondazione) alla fondazione, vale:

$$V_{\text{Ed,rid}} = V_{\text{Ed,ris}} - \Delta V_{\text{Ed}}$$

e la forza di punzonamento di verifica vale:

$$V_{\text{Ed,ver}} = V_{\text{Ed,rid}} \cdot \beta$$

dove:

$V_{\text{Ed,ris}}$ = forza di taglio risultante verso il basso (comprensiva dell'azione N_z , del peso del pilastro h_{bp} , del peso della fondazione e del terreno gravanti all'interno dell'area critica);

$$\Delta V_{\text{Ed}} = \sigma_{\text{bar}} \cdot a_u \geq 0;$$

σ_{bar} = pressione trasmessa dal suolo (o sottofondazione) misurata nel centro della fondazione;

$$\beta = 1 + k_w M_{\text{Ed}} u / (V_{\text{Ed,rid}} W);$$

M_{Ed} = $(M_{\text{Ed,x}}^2 + M_{\text{Ed,y}}^2)^{1/2}$, è il momento agente alla base della fondazione;

inoltre si assume:

$k_w = 0.60$, per pilastro quadrato,

$k_w = 0.70$, per pilastro rettangolare con rapporto dei lati > 1 ,

$k_w = 0.80$, per pilastro rettangolare con rapporto dei lati > 2 ;

mentre W è dato dalla relazione

$$W = \int_u |e| dl \quad (\text{integrale esteso a } u \text{ del modulo di } e)$$

dove:

dl è la lunghezza infinitesima del perimetro di verifica u ,
 e è la distanza di dl dall'asse intorno al quale agisce il momento M_{Ed} .

La resistenza al punzonamento per fondazione senza armatura a taglio è calcolata con la formula (NTC2018 §4.1.2.3.5.4, Eurocodice §6.4.4):

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} \cdot 2 d / a \geq V_{min} \cdot 2 d / a$$

con

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \cdot u d$$

dove:

d è l'altezza utile (sopra definita)
 u è il perimetro di verifica considerato (sopra definito);
 a è la distanza dal contorno del pilastro al perimetro di verifica considerato (sopra definita);

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,12;$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2,0 \quad (d \text{ in mm}) ;$$

$$\rho = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{1/2} \leq 0,02;$$

$$\rho_{lx} = a_{sx}/(d C_y) ;$$

$$\rho_{ly} = a_{sy}/(d C_x) ;$$

a_{sx} è l'area dell'armatura tesa disposta // alla direzione x ;

a_{sy} è l'area dell'armatura tesa disposta // alla direzione y ;

$$V_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \cdot u d$$

con unità di misura in N e mm.

2.12) Calcolo e verifica della fondazione

Per ogni stato limite per perdita dell'equilibrio (EQU) e per ogni stato limite ultimo di resistenza del terreno (GEO) o dell'elemento strutturale (STR) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad \text{con} \quad R_d = R/\gamma_R$$

essendo γ_R il coefficiente parziale per la resistenza della capacità portante della fondazione.

Per γ_R vedi cp,R e cp,Rh , coefficienti parziali per la capacità portante della fondazione e a scorrimento, nei coefficienti parziali dei parametri geotecnici.

2.12.1) Verifica al ribaltamento

La verifica al ribaltamento è condotta relativamente alla rotazione della fondazione poggiate sulla sottofondazione che alla rotazione della fondazione+sottofondazione poggiate sul terreno.

E' calcolato il maggior coefficiente che moltiplica il momento agente alla base della fondazione o sottofondazione tale per cui l'elemento rimane in equilibrio.

Per la verifica al ribaltamento della fondazione su sottofondazione si assume il rettangolo di portanza:

$$B' \cdot L' = N_z / f_{cd}$$

coerentemente con i valori delle eccentricità e_x e e_y raggiunte, con:

V_d , azione verticale risultante agente sulla sottofondazione;

f_{cd} , resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo.

Per la verifica al ribaltamento della sottofondazione su terreno si assume il rettangolo di portanza $B' \cdot L'$ coerentemente con i valori delle eccentricità e_x e e_y raggiunte e la resistenza del terreno.

2.12.2) Capacità portante della fondazione

L'azione risultante di progetto, normale alla base della fondazione, è data dalla relazione

$$E_d = V_d = |N_z| \quad \text{azione risultante verticale}$$

con la fondazione a base rettangolare di dimensioni in pianta B_x in direzione x e B_y in direzione y , soggetta alle sollecitazioni

T_x , azione orizzontale (o taglio) in direzione x ;

T_y , azione orizzontale (o taglio) in direzione y ;

N_z , azione assiale verticale;

M_x , momento flettente nel piano xz ;

M_y , momento flettente nel piano yz ;

con l'eccentricità e l'inclinazione di carico che risulta:

$$\begin{array}{ll} V_d = |N_z| & \text{risultante dell'azione verticale di progetto} \\ e_x = M_x / V_d & \text{eccentricità in direzione } x \text{ dell'azione risultante} \\ e_y = M_y / V_d & \text{eccentricità in direzione } y \text{ dell'azione risultante} \\ H_d = (T_x^2 + T_y^2)^{1/2} & \text{risultante dell'azione orizzontale di progetto} \\ \delta = \text{Arctan}(H_d / V_d) & \text{inclinazione della risultante dell'azione di progetto} \end{array}$$

La capacità portante della fondazione è calcolata con riferimento all'Eurocodice 7 : EN 1997-1:2004(E) Appendice D.

La capacità portante della fondazione su cui agisce un carico eccentrico inclinato sulla verticale viene calcolata considerando il carico centrato su di una fondazione rettangolare fittizia di dimensioni B' e L' con $L' \geq B'$ e inclinato sulla verticale;

Le larghezze efficaci di progetto della sottofondazione rispettivamente in direzione x e y , sono:

- per $(D_x - 2e_x) \leq (D_y - 2e_y)$

$$B' = D_x - 2e_x$$

$$L' = D_y - 2e_y$$

- per $(D_y - 2e_y) \leq (D_x - 2e_x)$

$$B' = D_y - 2e_y$$

$$L' = D_x - 2e_x$$

2.12.2.1) Capacità portante della fondazione in condizioni non drenate

La capacità portante R della fondazione (su piano orizzontale), in condizioni non drenate, è fornita dalla relazione:

$$R = B' L' q_R$$

con

$$q_R = (\pi + 2) c_u s_c i_c z_{cu} + q$$

ed essendo

c_u , resistenza a taglio non drenata;

q , pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

con il fattore di forma della fondazione s_c e di inclinazione della risultante i_c che valgono:

$$s_c = 1 + 0,2 B' / L'$$

$$i_c = 0,5 (1 + (1 - H / (B' L' c_u))^{1/2}) \quad \text{con } H \leq B' L' c_u$$

con c_u e q ottenuti dai rispettivi valori caratteristici c_{uk} e q_k ridotti con il rispettivo coefficiente parziale γ_M .

Il fattore z_{cu} è a cura dell'utente (non previsto in EC7). Il valore preimpostato è 1,00. Volendo considerare, ad esempio, il piano campagna inclinato e/o l'effetto sisma l'utente deve assegnare l'opportuno valore.

Nota. Nel calcolo di q non è preso in conto il coefficiente di combinazione delle azioni.

2.12.2.2) Capacità portante della fondazione in condizioni drenate

La capacità portante R della fondazione (su piano orizzontale), in condizioni drenate, è fornita dalla relazione:

$$R = B' L' q_R$$

con

$$q_R = c' N_c s_c i_c z_c + q' N_q s_q i_q z_q + 1/2 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma z_\gamma$$

ed essendo

- c' , coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;
- ϕ' , angolo di attrito, angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;
- q' , pressione litostatica efficace agente sul piano di posa della fondazione;
- γ' , peso di volume efficace del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione;
- N_c , fattore di capacità portante per effetto coesione;
- N_q , fattore di capacità portante per effetto sovraccarico;
- N_γ , fattore della capacità portante per effetto del peso del terreno;
- s_c , fattore dipendente dalla forma, applicato a N_c ;
- s_q , fattore dipendente dalla forma, applicato a N_q ;
- s_γ , fattore dipendente dalla forma, applicato a N_γ ;
- i_c , fattore dipendente dall'inclinazione del carico, applicato a N_c ;
- i_q , fattore dipendente dall'inclinazione del carico, applicato a N_q ;
- i_γ , fattore dipendente dall'inclinazione del carico, applicato a N_γ ;

con c' , ϕ' , q' e γ' ottenuti dai rispettivi valori caratteristici c'_k , ϕ'_k , q'_k e γ'_k ridotti con il rispettivo coefficiente parziale γ_M .

I fattori N_c , N_q e N_γ sono calcolati con le formule:

$$N_q = \exp(\pi \tan \phi') \tan^2(45^\circ + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cotan \phi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi', \text{ valido per base ruvida (vedi Eurocodice 7 appendice D)}$$

I fattori di forma s_c , s_q e s_γ , sono calcolati con le formule:

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi'$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L')$$

I fattori di inclinazione del carico i_c , i_q e i_γ , sono calcolati con le formule:

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$i_q = [1 - H / (V + B' L' c' \cotan \phi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + B' L' c' \cotan \phi')]^{m+1}$$

con

$$m = [(2 + L'/B') / (1 + L'/B')] \cos^2 \theta + [(2 + B'/L') / (1 + B'/L')] \sin^2 \theta$$

con $H=H_d$ e $V=V_d$ ed essendo θ l'angolo formato dall'azione orizzontale H con la direzione di L' .

I fattori z_c , z_q , z_γ sono a cura dell'utente (non previsti in EC7). Il valore preimpostato è 1,00. Volendo considerare, ad esempio, il piano campagna inclinato e/o l'effetto sisma l'utente deve assegnare gli opportuni valori.

Il valore di q' è ottenuto considerando il valore caratteristico del peso del terreno sovrastante il piano di appoggio della fondazione.

2.12.3) Resistenza allo scorrimento

Viene verificato per ogni stato limite ultimo che l'azione risultante orizzontale di progetto E_{hd} , tangente alla base della fondazione, risulti minore della resistenza allo scorrimento R_{hd} :

$$E_{hd} \leq R_{hd} \quad \text{con} \quad R_{hd} = R_h / \gamma_R$$

essendo γ_R il coefficiente parziale per la resistenza allo scorrimento della fondazione.

2.12.3.1) Resistenza allo scorrimento in condizioni non drenate

La capacità di resistenza allo scorrimento R_h della fondazione (su piano orizzontale), in condizioni non drenate del terreno, è fornita dalla relazione:

$$R_h = B' L' c_{u,h}$$

con

$c_{u,h}$, coesione tra fondazione e terreno di resistenza allo scorrimento.

Il valore di $c_{u,h}$ è ottenuto dal valore caratteristico $c_{uk,h}$ ridotto con lo stesso coefficiente parziale γ_M di c_{uk} .

2.12.3.2) Resistenza allo scorrimento in condizioni drenate

La capacità di resistenza allo scorrimento R_h della fondazione (su piano orizzontale), in condizioni drenate del terreno, è fornita dalla relazione:

$$R_h = V_d \tan \phi'_h$$

con

ϕ'_h , angolo di attrito tra fondazione e terreno di resistenza allo scorrimento.

Il valore di ϕ'_h è ottenuto dal valore caratteristico $\phi'_{k,h}$ ridotto con lo stesso coefficiente parziale γ_M di ϕ'_k .

2.13) Momenti di calcolo per la fondazione e sottofondazione

I momenti sollecitanti agenti sulla fondazione e sulla sottofondazione sono calcolati sia considerando una distribuzione lineare delle tensioni in compressione con sezione non reagente a trazione, sia considerando una distribuzione costante delle tensioni in compressione sul rettangolo di pressione $B' \cdot L'$.

Per la fondazione i momenti vengono calcolati con riferimento alle sollecitazioni in corrispondenza alla linea posta a 1/4 del pilastro. La sezione reagente è assunta rettangolare di larghezza pari alla corrispondente larghezza della fondazione e altezza

pari al suo spessore hf. L'altezza utile è assunta pari ad hf diminuita del ricoprimento ric delle armature.

La distanza della sezione di calcolo del momento rispetto al bordo della fondazione viene indicata con ux nella direzione x e con uy nella direzione y, e valgono:

$$\begin{aligned} u_x &= C_x/2 - A_x/4 \\ u_y &= C_y/2 - A_y/4. \end{aligned}$$

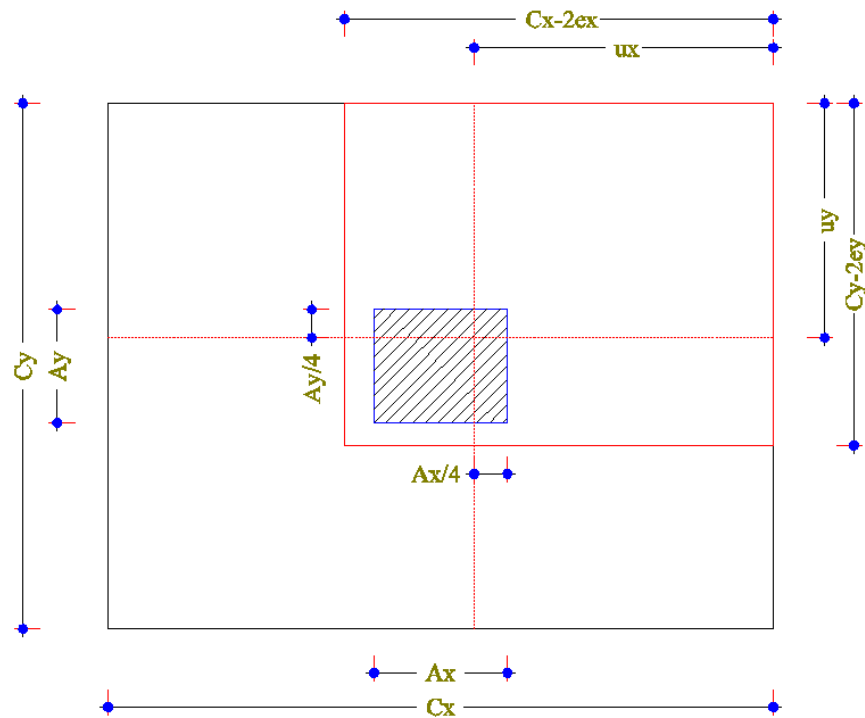
Per la sottofondazione i momenti vengono calcolati con riferimento alle sollecitazioni in corrispondenza alle linee individuate dai lati della fondazione rientrate verso il centro di hsf. La sezione reagente è assunta rettangolare di larghezza pari alla corrispondente larghezza della sottofondazione e altezza pari al suo spessore hsf. L'altezza utile è assunta pari ad hsf diminuita del ricoprimento ric delle armature. La fondazione e la sottofondazione devono costituire un corpo unico opportunamente collegato, diversamente i momenti nella fondazione e nella sottofondazione come calcolati possono risultare sottostimati.

La distanza della sezione di calcolo del momento rispetto al bordo della sottofondazione viene indicata con vx nella direzione x e con vy nella direzione y, e valgono:

$$\begin{aligned} v_x &= D_x/2 - C_x/2 + h_{sf}, \\ v_y &= D_y/2 - C_y/2 + h_{sf}. \end{aligned}$$

E' calcolato il dominio resistente con riferimento ad una sezione rettangolare bxh e ricoprimento ric, da cui l'altezza utile $d=h-ric$. Per le azioni N,M si verifica che il punto sollecitazione sia interno al dominio resistente. Generalmente viene fornito il coefficiente di "sicurezza" come rapporto tra la resistenza e la sollecitazione o come "distanza" dal dominio: la verifica è soddisfatta se il coefficiente risulta maggiore di 1.

2.13.1) Momenti di calcolo per la fondazione a “pressione costante”



E' considerata una distribuzione costante delle tensioni in sola compressione tra fondazione e sottofondazione nel “rettangolo resistente B'·L'.

Indicando con p la tensione sulla sottofondazione, già decurtata dal peso della fondazione e del terreno soprastante, relativamente alle condizioni più sfavorevoli, i momenti per tutta la larghezza della fondazione, valgono:

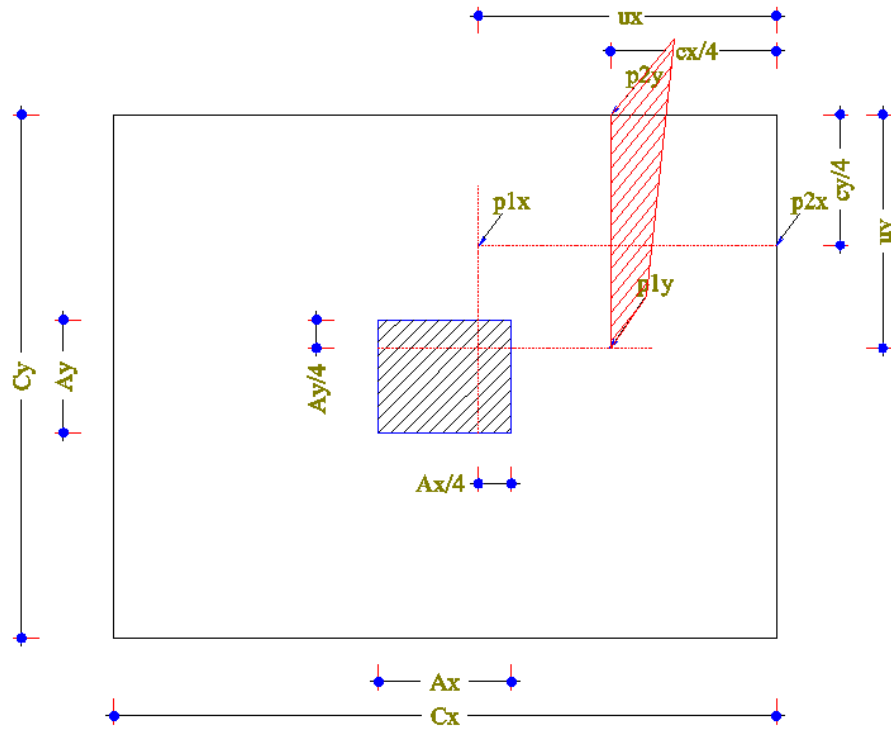
$$M_x = p \cdot C_y \cdot u_x^2 / 2, \quad \text{per } C_x - 2e_x \geq u_x$$

$$M_x = p \cdot C_y \cdot (C_x - 2e_x) \cdot (e_x - A_x/4), \quad \text{per } C_x - 2e_x \leq u_x$$

$$M_y = p \cdot C_x \cdot u_y^2 / 2, \quad \text{per } C_y - 2e_y \geq u_y$$

$$M_y = p \cdot C_x \cdot (C_y - 2e_y) \cdot (e_y - A_y/4), \quad \text{per } C_y - 2e_y \leq u_y.$$

2.13.2) Momenti di calcolo per la fondazione a “pressione lineare”



E' considerata una distribuzione lineare delle tensioni in sola compressione tra fondazione e sottofondazione.

I momenti vengono calcolati con riferimento alle tensioni in corrispondenza alle linee poste ai quarti della fondazione e sino a un quarto delle parete del pilastro, nell'angolo più sollecitato.

Indicando con p_{x1} e p_{x2} le tensioni sulla sottofondazione, già decurtate del peso della fondazione e del terreno soprastante, dove p_{x1} è la pressione al punto di coordinata $(Ax/4, Cy/4)$ e p_{x2} è la pressione al punto di coordinata $(Cx/2, Cy/4)$;

indicando con p_{y1} e p_{y2} le tensioni sulla sottofondazione, già decurtate del peso della fondazione e del terreno soprastante, dove p_{y1} è la pressione al punto di coordinata $(Cx/4, Ay/4)$ e p_{y2} è la pressione al punto di coordinata $(Cx/4, Cy/2)$;

indicando con p_0 la tensione sulla sottofondazione per carico centrato, già decurtata del peso della fondazione e del terreno soprastante;

relativamente alle condizioni più sfavorevoli, comunque non inferiori ai valori per carico centrato, i momenti per unità di larghezza, valgono:

$$\begin{aligned} m_x &= p_{x1} \cdot u_x^2 / 2 + (p_{x2} - p_{x1}) \cdot u_x^2 / 3 \geq p_0 \cdot u_x^2 / 2, \\ m_y &= p_{y1} \cdot u_y^2 / 2 + (p_{y2} - p_{y1}) \cdot u_y^2 / 3 \geq p_0 \cdot u_y^2 / 2; \end{aligned}$$

e i momenti considerati su tutta la larghezza della fondazione:

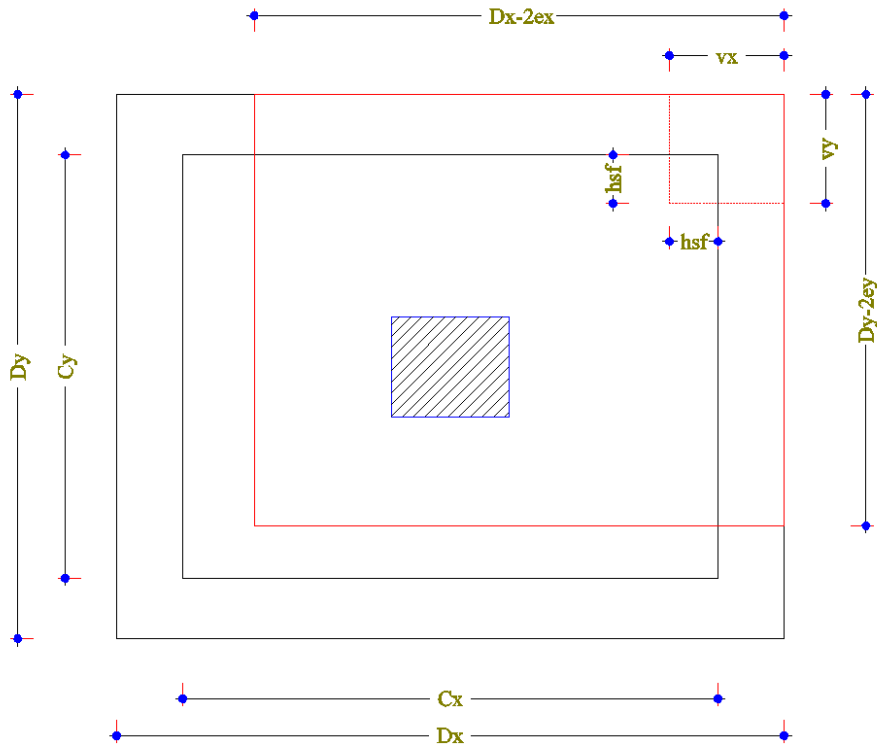
$$\begin{aligned} M_x &= m_x \cdot C_y \\ M_y &= m_y \cdot C_x \end{aligned}$$

Le formule precedenti valgono per $p_{x1} \geq 0$ e $p_{y1} \geq 0$. Diversamente, tenuto conto della non resistenza a trazione, si viene a considerare il triangolo di sola compressione:

$$ax=ux \cdot px1/(px2-px1); \quad bx=ux-ax; \quad mx=px2 \cdot bx \cdot (bx/3d0+ax/2d0)$$

$$ay=uy \cdot py1/(py2-py1); \quad by=uy-ay; \quad my=py2 \cdot by \cdot (by/3d0+ay/2d0)$$

2.13.3) Momenti di calcolo per la sottofondazione a “pressione costante”



E' considerata una distribuzione costante delle tensioni in sola compressione tra sottofondazione e terreno nel rettangolo resistente $B' \cdot L'$.

Indicando con p la tensione sul terreno, già decurtata dal peso della sottofondazione e del terreno soprastante; relativamente alle condizioni più sfavorevoli, i momenti per tutta la larghezza della sottofondazione, valgono:

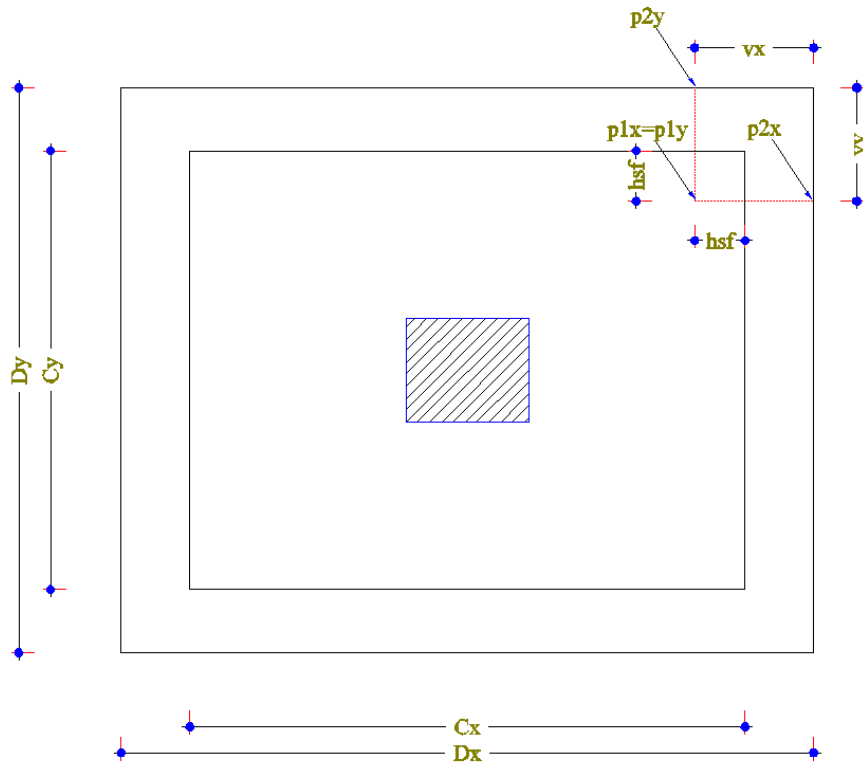
$$M_x = p \cdot D_y \cdot v_x^2 / 2, \quad \text{per } D_x - 2e_x \geq v_x$$

$$M_x = p \cdot D_y \cdot (D_x - 2e_x) \cdot (v_x - (D_x - 2e_x)/2), \quad \text{per } D_x - 2e_x \leq v_x$$

$$M_y = p \cdot D_x \cdot v_y^2 / 2, \quad \text{per } D_y - 2e_y \geq v_y$$

$$M_y = p \cdot D_x \cdot (D_y - 2e_y) \cdot (v_y - (D_y - 2e_y)/2), \quad \text{per } D_y - 2e_y \leq v_y.$$

2.13.4) Momenti di calcolo per la sottofondazione a “pressione lineare”



E' considerata una distribuzione lineare delle tensioni in sola compressione tra sottofondazione e terreno.

Indicando con p_{x1} e p_{x2} le tensioni sul terreno, già decurtate del peso della sottofondazione e del terreno soprastante, dove p_{x1} è la pressione al punto di coordinata $(C_x/2 - h_{sf}, C_y/2 - h_{sf})$ e p_{x2} è la pressione al punto di coordinata $(D_x/2, C_y/2 - h_{sf})$;

indicando con p_{y1} e p_{y2} le tensioni sul terreno, già decurtate del peso della sottofondazione e del terreno soprastante, dove p_{y1} è la pressione al punto di coordinata $(C_x/2 - h_{sf}, C_y/2 - h_{sf})$ e p_{y2} è la pressione al punto di coordinata $(C_x/2 - h_{sf}, D_y/2)$;

indicando con p_0 la tensione sul terreno per carico centrato già decurtata del peso della sottofondazione e del terreno soprastante;

relativamente alle condizioni più sfavorevoli, comunque non inferiori ai valori per carico centrato, i momenti per unità di larghezza, valgono:

$$m_x = p_{x1} \cdot v_x^2 / 2 + (p_{x2} - p_{x1}) \cdot v_x^2 / 3 \geq p_0 \cdot v_x^2 / 2,$$

$$m_y = p_{y1} \cdot v_y^2 / 2 + (p_{y2} - p_{y1}) \cdot v_y^2 / 3 \geq p_0 \cdot v_y^2 / 2;$$

e quelli considerati su tutta la larghezza della sottofondazione:

$$M_x = m_x \cdot D_y,$$

$$M_y = m_y \cdot D_x.$$

Le formule precedenti valgono per $p_{x1} \geq 0$ e $p_{y1} \geq 0$. Diversamente, tenuto conto della non resistenza a trazione, si viene a considerare il triangolo di sola compressione:

$$a_x = v_x \cdot p_{x1} / (p_{x2} - p_{x1}); \quad b_x = v_x - a_x; \quad m_x = p_{x2} \cdot b_x \cdot (b_x / 3d_0 + a_x / 2d_0)$$

$$a_y = v_y \cdot p_{y1} / (p_{y2} - p_{y1}); \quad b_y = v_y - a_y; \quad m_y = p_{y2} \cdot b_y \cdot (b_y / 3d_0 + a_y / 2d_0)$$

2.14) Calcolo degli ancoraggi

Le lunghezze di ancoraggio L_{anc} sono calcolate considerando una distribuzione costante della tensione tangenziale di aderenza, compatibilmente con le dimensioni del plinto.

La lunghezza di ancoraggio è così calcolata:

$$L_{anc} = l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} = l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

con

$$l_{b,rqd} = (\phi / 4) (f_{yd} / f_{bd})$$

e con i seguenti valori minimi:

- $l_{b,min} \geq 10 \phi$
- $l_{b,min} \geq 15 \text{ cm}$
- $l_{b,min} \geq 0,3 l_{b,rqd}$

essendo:

ϕ , il diametro dell'armatura;

f_{yd} , la tensione di snervamento di progetto;

$f_{bd} = 2.25 \cdot 0.7 \cdot 0.30 (f_{ck})^{2/3} / \gamma_c$ in N/mm^2 , la tensione di aderenza di progetto per ancoraggio considerato buono, per $f_{ck} \leq C50/60$.

2.15) Condizioni di validità

Perché i risultati siano corretti si deve sempre avere una sezione compressa (sia per la fondazione che per la sottofondazione) o di poco in trazione e per parti limitate.

Quando:

- a) l'eccentricità in direzione x e/o y risulta maggiore di 1/4 della rispettiva larghezza di fondazione e/o sottofondazione;
 - b) l'eccentricità in direzione x e/o y risulta maggiore di 1/3 della rispettiva larghezza di fondazione e/o sottofondazione;
 - c) il centro della fondazione e/o sottofondazione risulta in trazione (cioè non risulta compresso);
- anche per una sola combinazione, il programma lo segnala all'utente ma prosegue nel calcolo.

Quando:

- d) l'eccentricità in direzione x e/o y risulta maggiore di 2/5 della rispettiva larghezza di fondazione e/o sottofondazione, anche per una sola combinazione, il programma lo segnala all'utente e non prosegue nel calcolo.

2.16) Disegno del plinto

Il programma grafico CadNostrum collegato a PLIN permette il disegno della carpenteria e delle armature del plinto.

Con CadNostrum si può esportare il disegno in formato DXF. Il programma CadNostrum è un cad di semplice uso e lo si può usare per la creazione e/o gestione dei disegni.

Capitolo 3

CRITERI DI CALCOLO

3.1) Premessa

Normativa di riferimento:

- D.M. 17GEN2018,
- Eurocodice 2 e Eurocodice 7.

3.2) Ipotesi di calcolo per il calcolo a rottura

Il calcolo dei momenti resistenti allo stato limite ultimo é fatto considerando le seguenti ipotesi:

- sezioni piane;
- assenza di scorrimento tra i materiali componenti la sezione;
- legame elastico non lineare tra sforzi e deformazioni;
- deformazione massima del calcestruzzo: vedi curve di resistenza;
- deformazione massima dell'armatura: vedi curve di resistenza.

3.3) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni del calcestruzzo

1) Si adotta, in compressione, il diagramma parabola-rettangolo definito da un arco di parabola, di secondo grado o grado n , passante per l'origine, avente asse parallelo a quello delle tensioni, e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni tangente alla parabola nel punto di sommità; il vertice della parabola ha ascissa ϵ_{c2} , l'estremità del segmento ha ascissa ϵ_{cu2} , l'ordinata massima del diagramma è pari a $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$. In compressione la deformazione massima ammessa è ϵ_{cu2} . In trazione si assume resistenza nulla e la deformazione è limitata, in PLIN, al valore $\epsilon = 0,05$ (5%).

2) Si adotta, in compressione, il diagramma triangolo-rettangolo, definito da un segmento di retta inclinata uscente dall'origine e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni posta in sommità; la parte lineare termina all'ascissa ϵ_{c3} , l'estremità del segmento orizzontale ha ascissa ϵ_{cu3} , l'ordinata massima del diagramma è pari a $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$. In compressione la deformazione massima ammessa è ϵ_{cu3} . In trazione si assume resistenza nulla e la deformazione è limitata, in PLIN, al valore $\epsilon = 0,05$ (5%).

3.4) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni dell'acciaio ordinario

1) Si adotta il diagramma elasto plastico, così definito in trazione (analogamente in compressione):

- $\sigma = \epsilon \cdot E$ per deformazioni comprese tra 0 e f_{syd}/E ;
- $\sigma = f_{syd}$ per deformazioni comprese tra f_{syd}/E e ϵ_{uk} ;

essendo σ la resistenza, ε la deformazione ed E il modulo elastico. La deformazione di calcolo, in PLIN, è limitata ad ε_{uk} .

2) Si adotta il diagramma bilineare, così definito in trazione (analogamente in compressione):

- $\sigma = \varepsilon \cdot E$ per deformazioni comprese tra 0 e f_{syd}/E ;

- $\sigma = f_{syd} + (f_{std} - f_{syd}) \cdot (\varepsilon - f_{syd}/E) / (\varepsilon_{uk} - f_{syd}/E)$ per deformazioni comprese tra f_{syd}/E e ε_{ud} ;
essendo σ la resistenza, ε la deformazione, ε_{uk} la deformazione in corrispondenza alla massima resistenza f_{stk} ed ε_{ud} la massima deformazione di calcolo.

Capitolo 4

I FILE AUTOLOAD e FILELOAD

4.1) Introduzione

I file AutoLoad contengono informazioni che possono essere “caricate” dal programma in modo automatico o a seguito dell’opportuno ordine.

I file AutoLoad di PLIN sono:

Autoload–PLIP.UdM

Autoload–PLIP.ICA

che vengono caricati automaticamente all’avvio di PLIN e ad ogni nuovo documento.

Tutti i file AutoLoad e FileLoad possono essere modificati e/o integrati dall’utente.

I file AutoLoad devono stare nella directory ...**PLIN** e generalmente sono modificabili solo con l’autorizzazione dell’amministratore. I file FileLoad possono stare in qualunque directory.

4.2) Il file AutoLoad–PLIN.UdM

I file AutoLoad–PLIN.UdM contiene le informazioni relative alle unità di misura utilizzate dal programma. E’ modificabile dall’utente, il comandi del menù sono **Unità\Unità di Misura\Carica Unità...** e **Unità\Unità di Misura\Salva Unità...** che permettono di caricare le unità di misura in un documento oppure di registrare le unità di misura del documento corrente su file.

4.3) Il file AutoLoad–PLIP.ICA

I file AutoLoad–PLIP.ICA contiene le informazioni relative all’intestazione del cartiglio utilizzato dal programma.

Il comando **Inserisci\Intestazione cartiglio\Edita** modifica l’intestazione del cartiglio del documento corrente.

Il comando **Inserisci\Intestazione cartiglio\Carica** carica da file nel documento corrente l’intestazione del cartiglio.

Il comando **Inserisci\Intestazione cartiglio\Salva** salva su file l’intestazione del cartiglio del documento corrente.

oooOooo