

PLINTO DI FONDAZIONE A POZZETTO

Programma

PLIP

per personal computer

Manuale introduttivo
(Febbraio 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 PLIP 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 pozzetto, 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 13.00

1.1) Premessa

Questo manuale introduce all'uso di PLIP.

1.2) Aggiornamenti

Omessi.

1.3) Il menù di PLIP

I comandi di PLIP 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 PLIP

2.1) Introduzione

Il programma PLIP permette il progetto, il calcolo, la verifica e il disegno dei plinti di fondazione a pozzetto, 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.

Con il comando **Inserisci\IMPOSTA CALCOLO POZZETTO** si scelgono i criteri di calcolo per il pozzetto.

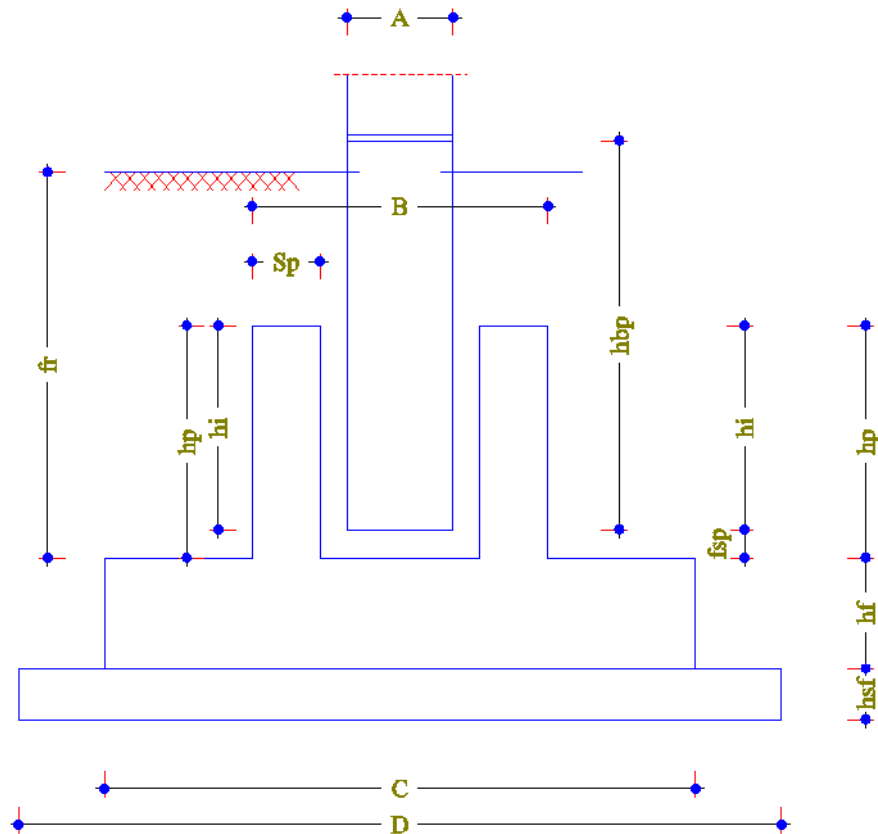
In particolare:

- si dichiara se l'eventuale carico permanente agente sulla parete del pozzetto è da considerare nei permanenti G1 o nei permanenti G2;
- si seleziona la "posizione" delle forze agenti nel pozzetto: h1, h2 e h3;
- si seleziona il tipo di calcolo e verifica del pozzetto: a flessione e taglio; a traliccio secondo UNI 10025/98; a traliccio semplificato; con forze concorrenti negli angoli;
- si assegna il valore massimo del coefficiente di attrito tra pilastro e pareti del pozzetto.

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



- Ax, dimensione del lato della sezione del pilastro parallelo all'asse x;
- Ay, dimensione del lato della sezione del pilastro parallelo all'asse y;
- Bx, dimensione del lato esterno della sezione del pozzetto, parallelo all'asse x;
- By, dimensione del lato esterno della sezione del pozzetto, parallelo all'asse y;
- Cx, dimensione del lato della fondazione (suola) parallelo all'asse x;
- Cy, dimensione del lato della fondazione (suola) parallelo all'asse y;
- Dx, dimensione del lato della sottofondazione parallelo all'asse x;
- Dy, dimensione del lato della sottofondazione parallelo all'asse y;
- hp, altezza del pozzetto;
- hf, altezza della fondazione (spessore);
- hsf, altezza della sottofondazione (spessore);
- Sp, spessore parete del pozzetto;
- fsp, franco sotto pilastro;
- Fr, franco fondazione, differenza tra la quota del terreno o pavimento e la quota dell'estradosso della fondazione;
- qu, quota estradosso fondazione (serve per il solo disegno);
- hbp, altezza base pilastro (parte di pilastro da considerare nel peso gravante sulla fondazione);

e con

- hi, altezza di infissione del pilastro nel pozzetto pari a $hp - fsp$.

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:

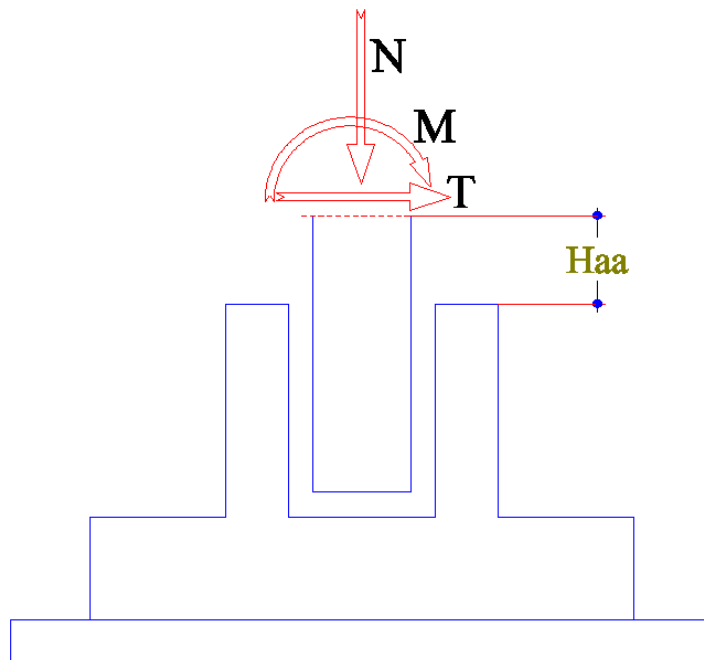
- Il peso specifico del terreno sopra il piano di posa pstS e sotto il piano di posa pstI;
- i valori caratteristici c_{uk} della resistenza a taglio non drenata per il calcolo della portanza in condizioni non drenate del terreno;
- i valori caratteristici c'_k della coesione efficace e ϕ'_k angolo di 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:

- a) il peso del plinto, conteggiato tramite il suo peso specifico;
- b) il peso del terreno sovrastante la fondazione e sottofondazione, conteggiato tramite il suo peso specifico;

c) un carico permanente applicato alla sommità della parete del pozzetto (se presente), che è preso in conto nella verifica della fondazione e nel calcolo della portanza ma è trascurato nelle verifiche del pozzetto;

d) 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 Haa misurata a partire dall'estradosso pozzetto e positiva verso l'alto (per azioni applicate a filo superiore pozzetto si deve dunque assegnare Haa=0) 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: haa(m), Nz(N), Tx(N), Ty(N), Mx(Nm) e My(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.

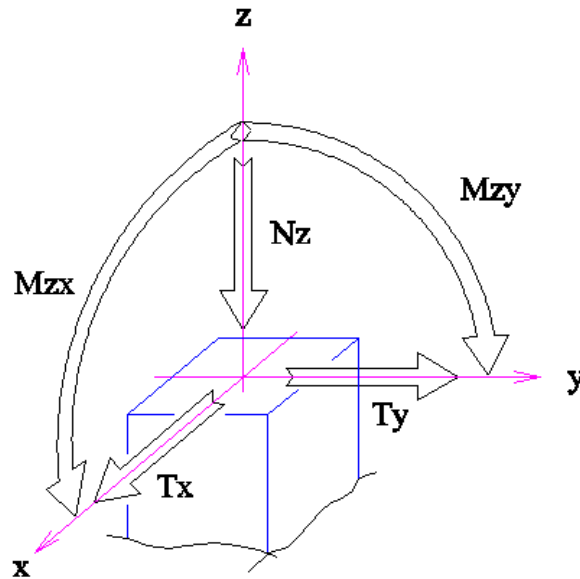
2.5.1) Convenzione per le azioni

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

La convenzione scalare è poi usata in tutte le restanti manifestazioni di PLIP, 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 $+y$.

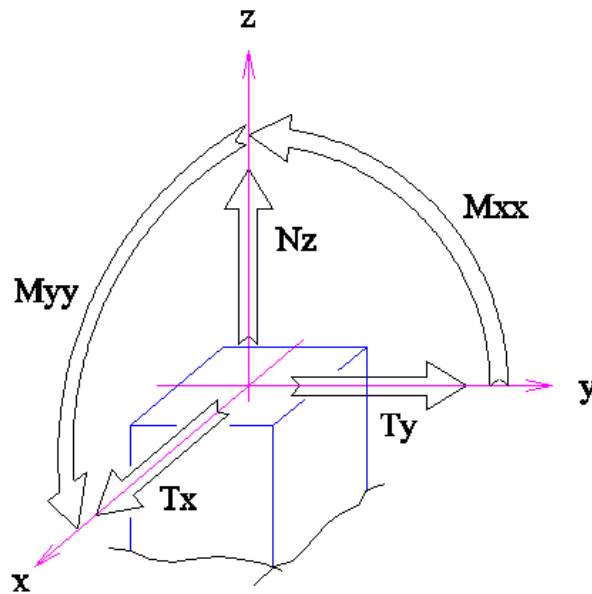
Le forze orizzontali T_x e T_y sono tali che una azione orizzontale positiva provoca un incremento positivo del momento sul piano di fondazione. In particolare, alla base (intradosso) della fondazione, risulta:

$$M_{zx}(f) = M_{zx} + T_x \cdot (h_{aa} + h_p + h_f);$$

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

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

b) Convenzione vettoriale per le azioni con Nz 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:

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

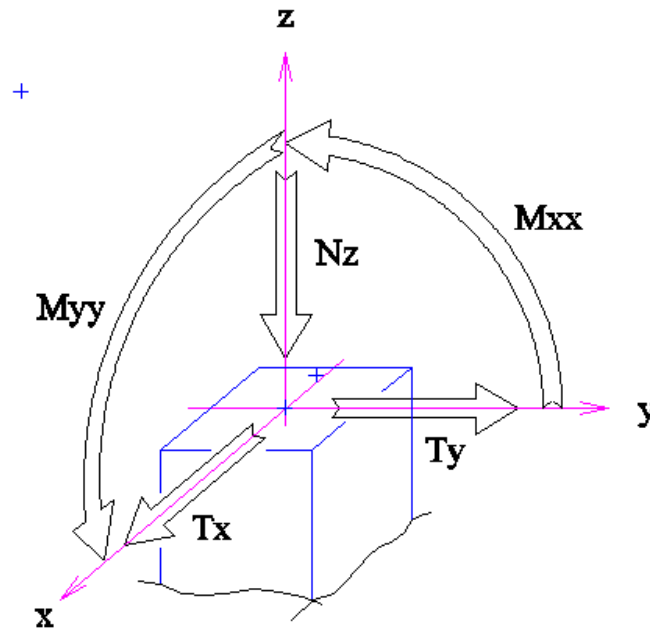
$$M_{yy}(f) = M_{yy} + T_x \cdot (h_{aa} + h_p + h_f).$$

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:

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

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

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 PLIP i coefficienti per le combinazioni 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), carico su parete pozzetto (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 PLIP non prevede armature superiori per la sottofondazione.

2.8) Armature del plinto

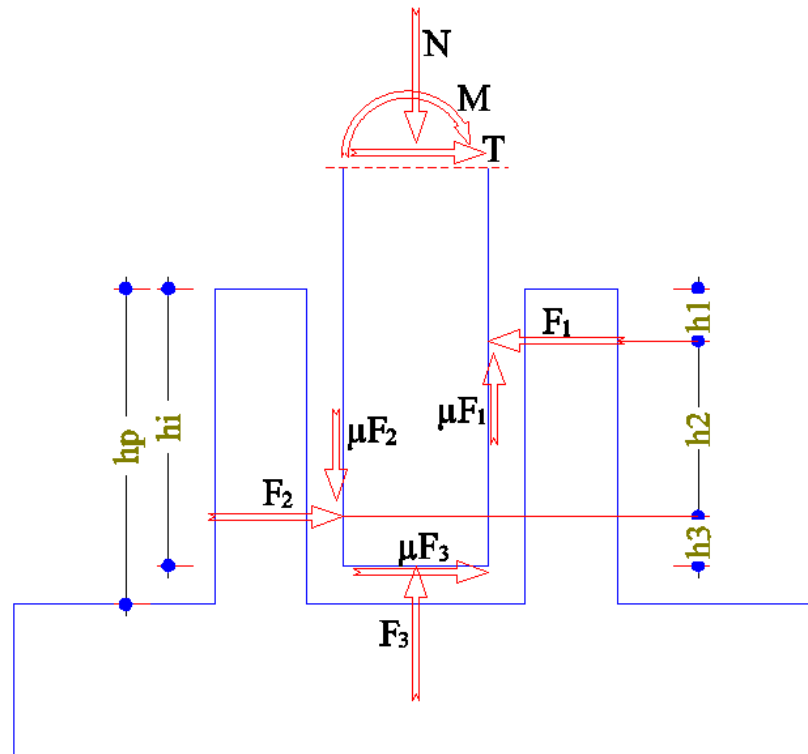
Il programma prevede dodici posizioni di armature disposte nel plinto:

- pos. 1: armature orizzontali disposte nella parte superiore del pozzetto, parallelamente all'asse x (armatura collare);
- pos. 2: armature orizzontali disposte nella parte superiore del pozzetto, parallelamente all'asse y (armatura collare);
- pos. 3: armature orizzontali disposte nella parte intermedia del pozzetto, parallelamente all'asse x;
- pos. 4: armature orizzontali disposte nella parte intermedia del pozzetto, parallelamente all'asse y;
- pos. 5: armature verticali disposte negli angoli del pozzetto;
- pos. 6: armature verticali disposte internamente alle pareti del pozzetto;
- pos. 7: armature superiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 8: armature superiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse y;
- pos. 9: armature inferiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 10: armature inferiori della fondazione, disposte parallelamente all'asse y;
- pos. 11: armature inferiori della sottofondazione, disposte parallelamente all'asse x;
- pos. 12: armature inferiori della sottofondazione, disposte parallelamente all'asse y.

Le armature di pos. 6, 7, 8, 9, 10, possono posizionarsi come indicato nel programma di calcolo (vedere comando **Analisi\AssegnaArmature**).

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

2.9) Calcolo delle forze nel pozzetto



Per il calcolo delle forze trasmesse dal pilastro al pozzetto si può optare per (comando **Inserisci\ImpostaCalcoloPozzetto**):

- $h_1 = 1/6 h_i$, $h_2 = 2/3 h_i$, $h_3 = 1/6 h_i$;
- $h_1 = 1/4 h_i$, $h_2 = 2/3 h_i$, $h_3 = 1/12 h_i$;
- $h_1 = 1/10 h_i$, $h_2 = 8/10 h_i$, $h_3 = 1/10 h_i$;

dove la posizione a) richiama sostanzialmente il metodo elastico, la posizione b) è indicata dalla norma UNI 10025 e la posizione c) è suggerita dall'Eurocodice.

Il coefficiente di attrito μ , tra pareti pilastro e pareti pozzetto, può assumere un valore ≥ 0 ; allo scopo l'utente assegna μ_{max} (con $\mu_{max} \leq 0,3$ come indicato dall'Eurocodice). Per μ_{max} nullo l'attrito non è considerato.

La figura sopra riportata indica indipendentemente la direzione x o la direzione y; in essa sono riportate le forze di equilibrio agenti sul pilastro.

2.10) Modo di calcolo e verifica del pozzetto

Per il calcolo e la verifica delle pareti del pozzetto si può optare per (comando **Inserisci\ImpostaCalcoloPozzetto**):

- Calcolo e verifica a flessione e taglio;
- Traliccio secondo UNI 10025/98;
- Traliccio semplificato;
- Concorrenza forze negli angoli.

A) Calcolo e verifica a flessione e taglio

- per il collare del pozzetto si esegue una verifica a flessione e a taglio;
- per le pareti laterali si esegue una verifica puntone-tirante;
- per le pareti di fondo, soggette all'azione della forza F_2 , si esegue una verifica a taglio;

B) Traliccio secondo UNI 10025/98

- per il collare del pozzetto si esegue una verifica puntone-tirante secondo lo schema UNI 10025/98 con $R'=0$;
- per le pareti laterali si esegue una verifica puntone-tirante;
- per le pareti di fondo, soggette all'azione della forza F_2 , si esegue una verifica puntone-tirante;

C) Traliccio semplificato

- per il collare del pozzetto si esegue una verifica puntone-tirante;
- per le pareti laterali si esegue una verifica puntone-tirante;
- per le pareti di fondo, soggette all'azione della forza F_2 , si esegue una verifica puntone-tirante;

D) Concorrenza forze negli angoli

- per il collare del pozzetto si considera il blocco pilastro-pozzetto come un corpo rigido unico, si verificano le armature a trazione;
- per le pareti laterali si esegue una verifica puntone-tirante;
- per le pareti di fondo, soggette all'azione della forza F_2 , si esegue una verifica puntone-tirante;

vedere anche più avanti.

2.11) Progetto delle armature

Il programma PLIP 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 PLIP, indica se le dimensioni del plinto con le sue armature sono 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**.

2.12) Le verifiche

I metodi di calcolo e verifica dei plinti a pozzetto 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).

Esegue la verifica del pozzetto.

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**.

2.13) Calcolo e verifica del pozzetto

Le verifiche sono condotte a flessione, taglio e tirante-puntone.

Flessione

E' calcolato il dominio resistente con riferimento ad una sezione rettangolare $b \times h$ 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: la verifica è soddisfatta se il coefficiente risulta maggiore di 1.

Taglio

E' calcolato il taglio resistente, per sezioni senza armatura a taglio, con riferimento ad una sezione rettangolare $b \times h$ e ricoprimento ric , da cui l'altezza utile $d=h-ric$ e la larghezza utile $b_w=b$.

Il taglio resistente allo stato limite ultimo (§ 6.2.2 Eurocodice; § 4.1.2.3.5.1 NTC2018) vale:

$$V_{Rd} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}] b_w d \geq V_{min} = v_{min} b_w d \quad (\sigma_{cp}=0)$$

dove:

$$\begin{aligned} f_{ck} & \text{ è in N/mm}^2 \\ k & = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2,0 \text{ (d in mm)} \\ \rho_l & = A_{sl}/(b_w d) \leq 0,02 \\ A_{sl} & \text{ è l'area dell'armatura tesa} \\ C_{Rd,c} & \text{ é } 0,18/\gamma_c = 0,12 \\ v_{min} & = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \end{aligned}$$

comunque limitato al seguente valore (§ 4.1.2.3.5.3 NTC2018):

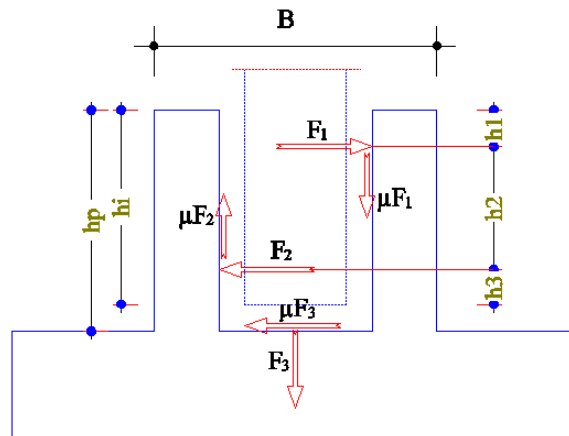
$$\underline{V}_{Rd} \leq 0,5 v f_{cd} b_w d, \quad \text{con} \quad v = 0,6 (1 - f_{ck}/250) \text{ (} f_{ck} \text{ in N/mm}^2 \text{)} \quad (v=0,5 \text{ per R.I.)}$$

Tirante-puntone

Si calcolano le forze resistenti dell'armatura del tirante e del puntone di calcestruzzo come prodotto della resistenza di progetto dei materiali e l'area resistente.

2.13.1) Azioni nel pozzetto

Le azioni nel pozzetto sono calcolate secondo gli schemi sotto riportati e per le varie combinazioni.



Le forze orizzontali trasmesse dal pilastro alla parete del pozzetto, F_{1x} e F_{1y} nella parte superiore e F_{2x} e F_{2y} nella parte inferiore, la forza F_3 sul fondo del pozzetto, si ottengono dalle equazioni di equilibrio di corpo rigido, considerando un coefficiente di attrito $\mu \leq \mu_{\max}$ tale per cui una o più forze orizzontali restano minime positive.

Si assume come direzione della forza di attrito di fondo dovuta alla forza F_3 la direzione della forza F_2 ottenuta nell'equilibrio con attrito nullo: $\alpha = \text{Arctan}(F_{2y}/F_{2x})$ con $\mu=0$.

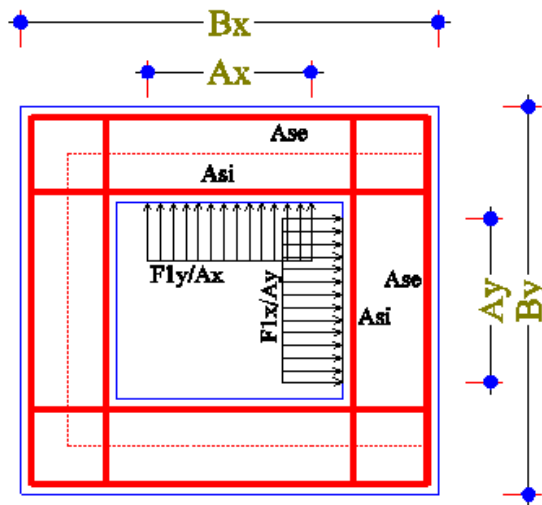
Le forze agenti sulle pareti del pozzetto sono dunque:

- F_{1x} : forza orizzontale in direzione x, applicata in alto al pozzetto sulla parete // a y;
- F_{1y} : forza orizzontale in direzione y, applicata in alto al pozzetto sulla parete // a x;
- F_{2x} : forza orizzontale in direzione x, applicata in basso al pozzetto sulla parete // a y;
- F_{2y} : forza orizzontale in direzione y, applicata in basso al pozzetto sulla parete // a x;
- F_3 : forza verticale applicata sul fondo del pozzetto;
- μF_{1x} : forza verticale di attrito prodotta da F_{1x} e applicata sulla parete del pozzetto // a y;
- μF_{1y} : forza verticale di attrito prodotta da F_{1y} e applicata sulla parete del pozzetto // a x;
- μF_{2x} : forza verticale di attrito prodotta da F_{2x} e applicata sulla parete del pozzetto // a y;
- μF_{2y} : forza verticale di attrito prodotta da F_{2y} e applicata sulla parete del pozzetto // a x;
- μF_{3x} : forza orizzontale di attrito prodotta da F_3 e applicata sul fondo del pozzetto in direzione x;
- μF_{3y} : forza orizzontale di attrito prodotta da F_3 e applicata sul fondo del pozzetto in direzione y;

con

$$\begin{aligned} \mu F_{1x} &= \mu \cdot F_{1x} \\ \mu F_{1y} &= \mu \cdot F_{1y} \\ \mu F_{2x} &= \mu \cdot F_{2x} \\ \mu F_{2y} &= \mu \cdot F_{2y} \\ \mu F_{3x} &= \mu \cdot F_3 \cdot \cos(\alpha) \\ \mu F_{3y} &= \mu \cdot F_3 \cdot \sin(\alpha). \end{aligned}$$

2.13.2) Calcolo del collare del pozzetto a flessione e taglio



Con riferimento alla figura, le sollecitazioni nel collare del pozzetto nelle pareti // all'asse x sono:

$$N_x = F_{1x}/2$$

$$M_x = F_{1y}/A_x * [(B_x - S_p)^2/8 - (B_x - S_p - A_x)^2/8] / 2$$

$$T_x = F_{1y}/2$$

e le sollecitazioni nel collare del pozzetto nelle pareti // all'asse y sono:

$$N_y = F_{1y}/2$$

$$M_y = F_{1x}/A_y * [(B_y - S_p)^2/8 - (B_y - S_p - A_y)^2/8] / 2$$

$$T_y = F_{1x}/2$$

con l'ulteriore posizione

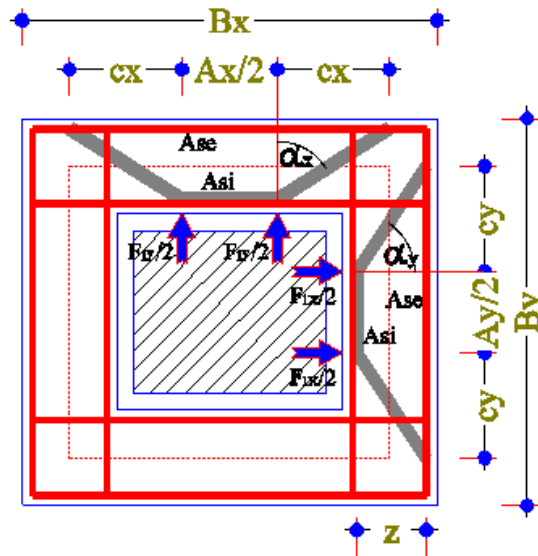
$$M_x = M_y = \text{MAX}(M_x, M_y)$$

avendo assunto il momento di incastro uguale al momento in mezzzeria.

Sono eseguite le verifiche, a flessione e taglio, considerando una sezione resistente rettangolare di sezione b x h con:

- $b = 2 h_1 + S_p/2 \leq 0.8 h_i/2$, larghezza geometrica della sezione resistente;
- $h = S_p$, altezza geometrica della sezione resistente.

2.13.3) Calcolo del collare del pozzetto con puntone-tirante con riferimento alla UNI 10025/98



Le forze di trazione nell'armatura A_{si} posta sul bordo interno, nell'armatura A_{se} posta sul bordo esterno e nel puntone di calcestruzzo, per la parete // a x e la parete // a y, sono:

nel lato // a x

$$\begin{aligned} F_{Asi,x} &= 1/4 F_{1x} \\ F_{Ase,x} &= 1/4 F_{1x} + 1/2 F_{1y} \tan(\alpha_x) \\ F_{c,x} &= 1/2 F_{1y} / \cos(\alpha_x) \end{aligned}$$

nel lato // a y

$$\begin{aligned} F_{Asi,y} &= 1/4 F_{1y} \\ F_{Ase,y} &= 1/4 F_{1y} + 1/2 F_{1x} \tan(\alpha_y) \\ F_{c,y} &= 1/2 F_{1x} / \cos(\alpha_y) \end{aligned}$$

con

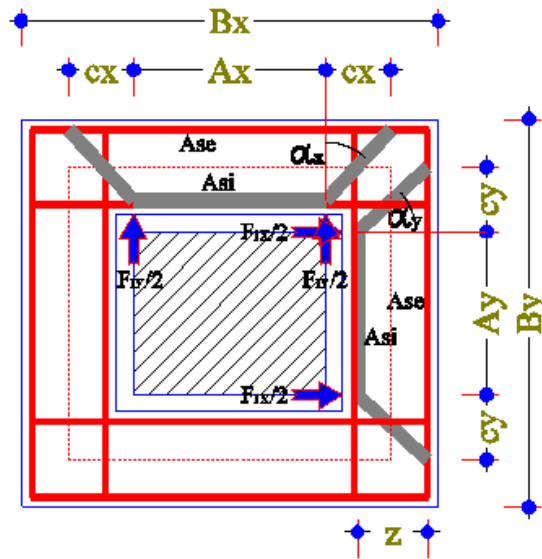
$$\begin{aligned} \alpha_x &= \arctang(c_x/z) \\ \alpha_y &= \arctang(c_y/z) \\ c_x &= (B_x - Sp - A_x/2)/2 \\ c_y &= (B_y - Sp - A_y/2)/2 \\ z &= 0.9 d \\ d &= Sp - ric \end{aligned}$$

si assume come sezione resistente del puntone di calcestruzzo la sezione rettangolare $b \times h$ con:

$$\begin{aligned} b &= 2 h_1 + Sp/2 \leq h_i/2, \text{ larghezza geometrica della sezione resistente;} \\ h &= 0.4 d \cos(\alpha), \text{ altezza geometrica della sezione resistente;} \end{aligned}$$

dove α vale α_x o α_y .

2.13.4) Calcolo del collare del pozzetto con puntone-tirante traliccio semplificato



Le forze di trazione nell'armatura di area A_{si} posta sul bordo interno, nell'armatura di area A_{se} posta sul bordo esterno e nel puntone di calcestruzzo, sono:

nel lato // a x

$$\begin{aligned} F_{Asi,x} &= 1/4 F_{1x} \\ F_{Ase,x} &= 1/4 F_{1x} + 1/2 F_{1y} \tan(\alpha_x) \\ F_{c,x} &= 1/2 F_{1y} / \cos(\alpha_x) \end{aligned}$$

nel lato // a y

$$\begin{aligned} F_{Asi,y} &= 1/4 F_{1y} \\ F_{Ase,y} &= 1/4 F_{1y} + 1/2 F_{1x} \tan(\alpha_y) \\ F_{c,y} &= 1/2 F_{1x} / \cos(\alpha_y) \end{aligned}$$

con

$$\begin{aligned} \alpha_x &= \arctang(c_x/z) \\ \alpha_y &= \arctang(c_y/z) \\ c_x &= (B_x - Sp - A_x)/2 \\ c_y &= (B_y - Sp - A_y)/2 \\ z &= 0.9 d \\ d &= Sp - ric \end{aligned}$$

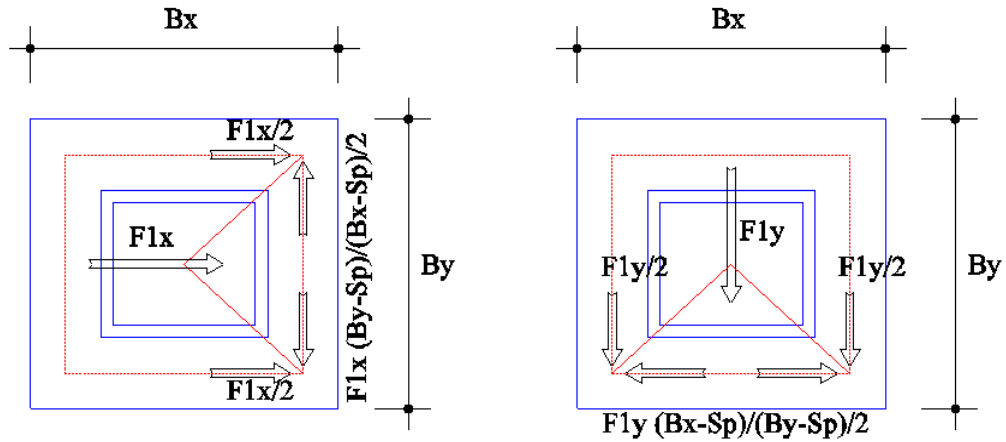
si assume come sezione resistente del puntone di calcestruzzo la sezione rettangolare $b \times h$ con:

$b = 2 h_1 + Sp/2 \leq 0.8 h_i/2$, larghezza geometrica della sezione resistente;

$h = 0.4 d \cos(\alpha)$, altezza geometrica della sezione resistente;

dove α vale α_x o α_y .

2.13.5) Calcolo del collare del pozzetto con forze confluenti negli angoli



Le forze orizzontali di trazione nelle pareti del pozzetto al livello del collare valgono, per singola parete:

nel lato // a x

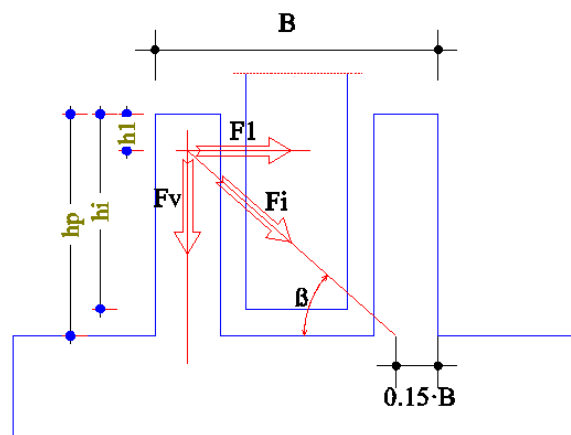
$$F_{As,x} = 1/2 F_{1x} + 1/2 F_{1y} \cdot (Bx - Sp) / (By - Sp) > 1/2 F_{1x} + 1/2 F_{1y}$$

nel lato // a y

$$F_{As,y} = 1/2 F_{1y} + 1/2 F_{1x} \cdot (By - Sp) / (Bx - Sp) > 1/2 F_{1x} + 1/2 F_{1y}$$

ottenute considerando il triangolo di forze i cui vertici sono il centro del pilastro e i due angoli del rettangolo coincidente con la linea media della sezione orizzontale del pozzetto.

2.13.6) Verifica pareti laterali pozzetto



La forza orizzontale superiore F_1 è equilibrata dalla forza verticale F_v e dalla forza inclinata F_i , quest'ultima inclinata rispetto all'orizzontale dell'angolo β , che nelle due direzioni vale:

$$\beta_x = \text{Arctan} \left(\frac{hp-h1}{0.85 B_x - Sp/2} \right), \quad \text{per il lato // a x}$$

$$\beta_y = \text{Arctan} \left(\frac{hp-h1}{0.85 B_y - Sp/2} \right), \quad \text{per il lato // a y}$$

Nell'angolo più sollecitato la forza verticale F_v vale:

$$F_v = 1/2 F_{1x} \tan \beta_x + 1/2 F_{1y} \tan \beta_y$$

e l'armatura resistente è l'armatura verticale contenuta nel singolo angolo del bicchiere.

Nelle pareti del pozzetto le forze di compressione nei puntoni valgono:

$$F_{ix} = 1/2 F_{1x} / \cos \beta_x, \quad \text{per il lato // a x}$$

$$F_{iy} = 1/2 F_{1y} / \cos \beta_y, \quad \text{per il lato // a y}$$

e si assume come sezione resistente del puntone la sezione rettangolare $b \times h$ con:

$b = Sp$, larghezza geometrica della sezione resistente;

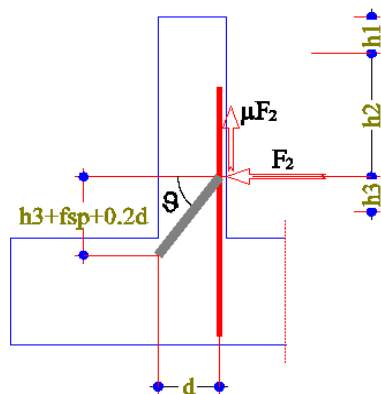
$h = 0.30 B \sin \beta$, altezza geometrica della sezione resistente;

dove B vale B_x o B_y e β vale β_x o β_y , rispettivamente.

2.13.7) Verifica fondo pareti laterali del pozzetto

Sul fondo della parete laterale agisce la forza F_2 .

Verifica puntone-tirante



La forza nell'armatura vale

$$F_{v,x} = F_{2y} \tan \vartheta + \mu F_{2y}, \quad \text{nella parete lato // a x}$$

$$F_{v,y} = F_{2x} \tan \vartheta + \mu F_{2x}, \quad \text{nella parete lato // a y}$$

con

$$\vartheta = \text{Arctan} \left(\frac{h3+fsp+0.2 d}{d} \right)$$

le forze di compressione nei puntoni valgono:

$$F_{i,x} = F_{2y} / \cos \vartheta, \quad \text{nella parete lato // a x}$$

$$F_{i,y} = F_{2x} / \cos \vartheta, \quad \text{nella parete lato // a y}$$

e si assume come sezione resistente del puntone la sezione rettangolare $b \times h$ con:
 $b = (A + S_p)$, larghezza geometrica della sezione resistente;
 $h = 0.40 d \cos \vartheta$, altezza geometrica della sezione resistente;

con

$$d = S_p - r_{ic}$$

e A vale A_x o A_y .

Verifica a taglio

Le forze di taglio sono:

$$V_x = F_{2y}, \quad \text{nella parete lato // a x}$$

$$V_y = F_{2x}, \quad \text{nella parete lato // a y}$$

e si assume come sezione resistente la sezione rettangolare $b \times h$ con:
 $b = (A + S_p)$, larghezza geometrica della sezione resistente;
 $h = S_p$, altezza geometrica della sezione resistente;

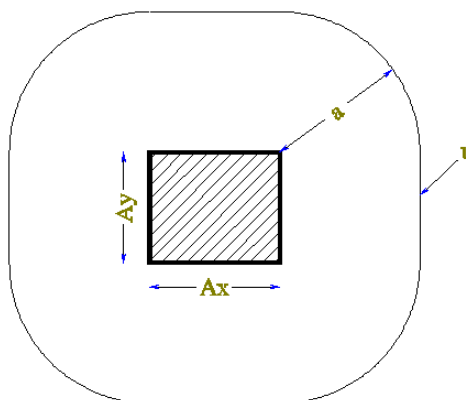
dove A vale A_x o A_y .

2.14) Verifica a punzonamento

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

$$\begin{aligned} a &= 0,5 d \\ a &= 1,0 d \\ a &= 1,5 d \\ a &= 2,0 d, \quad \text{perimetro di verifica di base} \end{aligned}$$

dove d è dato dall'altezza utile (media) della fondazione, pari a:

$$\begin{aligned} d &= hf - ric, & \text{per sottofondazione non armata,} \\ d &= hf + hsf - ric, & \text{per sottofondazione armata,} \end{aligned}$$

con la limitazione

$$d \leq \text{MIN} (c_x - a_x - (hf - ric), c_y - a_y - (hf - ric)) / 4.$$

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

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

e la forza di punzonamento di verifica vale:

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

dove:

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

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

σ_{bar} = pressione trasmessa dal suolo misurata nel centro della fondazione;

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

$M_{Ed} = (M_{Ed,x}^2 + M_{Ed,y}^2)^{1/2}$, 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 d_l 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);

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

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

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

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

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

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.

2.15) 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.

2.15.1) 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:

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

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.

2.15.2) 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:

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

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

$$B' = Dy - 2 ey$$

$$L' = Dx - 2 ex$$

2.15.2.1) 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

$$q_R = (\pi+2) c_u s_c i_c + q$$

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 .

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

2.15.2.2) 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

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

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:

$$\begin{aligned} N_q &= \exp(\pi \tan \phi') \tan^2(45^\circ + \phi'/2) \\ N_c &= (N_q - 1) \cotan \phi' \\ N_\gamma &= 2 (N_q - 1) \tan \phi', \text{ valido per base ruvida (vedi Eurocodice 7 appendice D)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} s_c &= (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) \\ s_q &= 1 + (B'/L') \sin \phi' \\ s_\gamma &= 1 - 0,3 (B'/L') \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} i_c &= i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \phi') \\ i_q &= [1 - H / (V + B' L' c' \cotan \phi')]^m \\ i_\gamma &= [1 - H / (V + B' L' c' \cotan \phi')]^{m+1} \\ \text{con} \\ m &= [(2 + L'/B') / (1 + L'/B')] \cos^2 \theta + [(2 + B'/L') / (1 + B'/L')] \sin^2 \theta \end{aligned}$$

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

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

2.15.3) 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.

2.15.3.1) 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} .

2.15.3.2) 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 .

2.16) 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 in mezzzeria della parete del pozzetto. La sezione reagente è assunta rettangolare di larghezza pari alla corrispondente larghezza della fondazione e altezza pari al suo spessore h_f . L'altezza utile è assunta pari ad h_f diminuita del ricoprimento ric delle armature.

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

$$\begin{aligned} u_x &= C_x/2 - B_x/2 + sp/2 \\ u_y &= C_y/2 - B_y/2 + sp/2. \end{aligned}$$

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 h_{sf} . La sezione reagente è assunta rettangolare di larghezza pari alla corrispondente larghezza della sottofondazione e altezza pari al suo spessore h_{sf} . L'altezza utile è assunta pari ad h_{sf} 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.

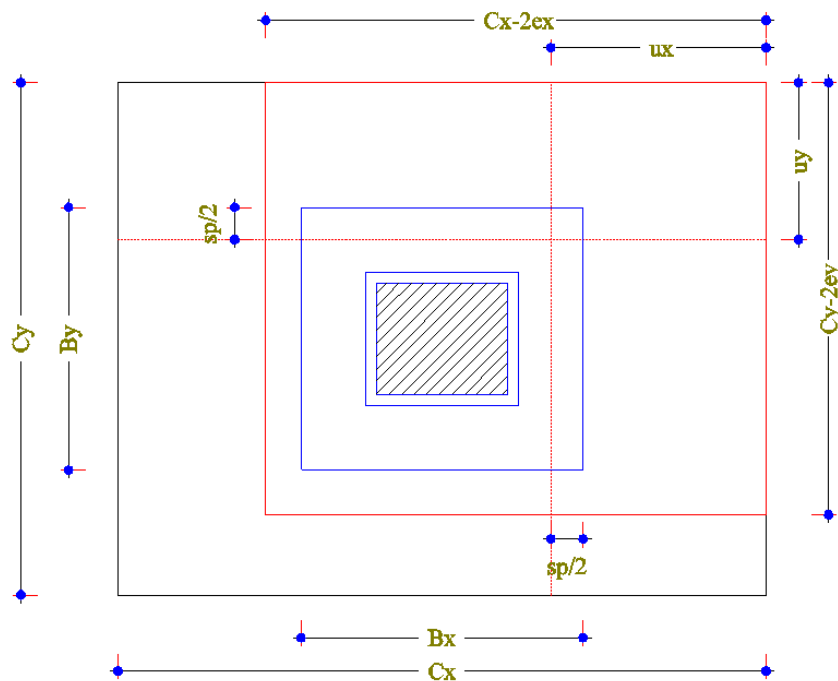
La distanza della sezione di calcolo del momento rispetto al bordo della sottofondazione viene indicata con v_x nella direzione x e con v_y nella direzione y , e valgono:

$$v_x = D_x/2 - C_x/2 + h_{sf},$$

$$v_y = D_y/2 - C_y/2 + h_{sf}.$$

E' calcolato il dominio resistente con riferimento ad una sezione rettangolare $b \times h$ 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.

2.16.1) 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 di pressione $B' \cdot L'$.

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, sono assunti:

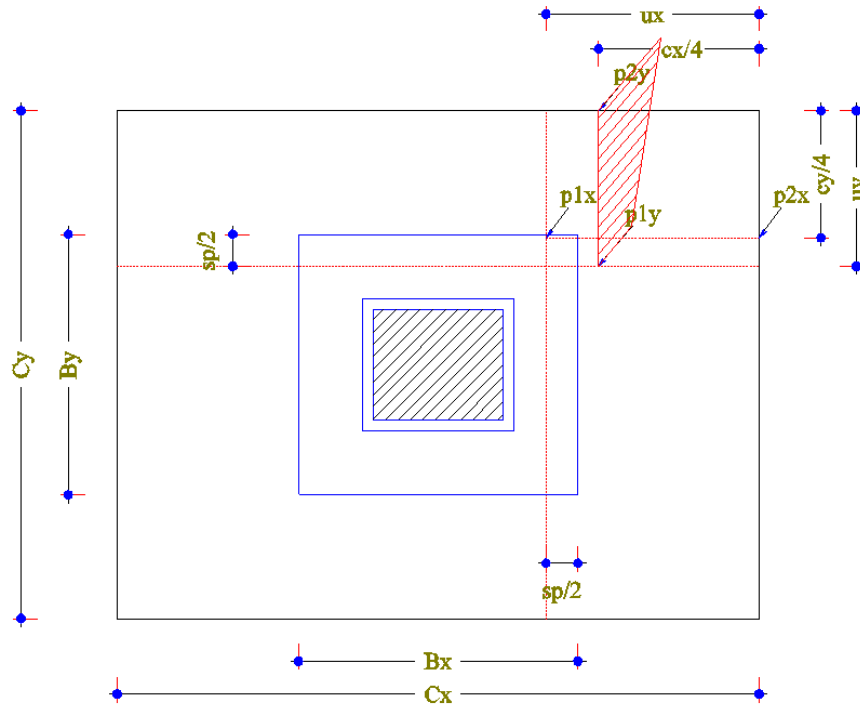
$$M_x = p \cdot C_y \cdot u_x^2 / 2 \quad \text{per } C_x - 2e_x \geq u_x$$

$$M_x = p \cdot C_y \cdot (C_x - 2e_x) \cdot (e_x - B_x/2 + sp/2) \quad \text{per } C_x - 2e_x \leq u_x$$

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

$$M_y = p \cdot C_x \cdot (C_y - 2e_y) \cdot (e_y - B_y/2 + sp/2) \quad \text{per } C_y - 2e_y \leq u_y.$$

2.16.2) 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 alla mezzera delle pareti del pozzetto, 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 $(B_x/2 - S_p/2, C_y/4)$ e p_{x2} è la pressione al punto di coordinata $(C_x/2, C_y/4)$;

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 $(C_x/4, B_y/2 - S_p/2)$ e p_{y2} è la pressione al punto di coordinata $(C_x/4, C_y/2)$;

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:

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

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

e i momenti considerati su tutta la larghezza della fondazione:

$$M_x = m_x \cdot C_y$$

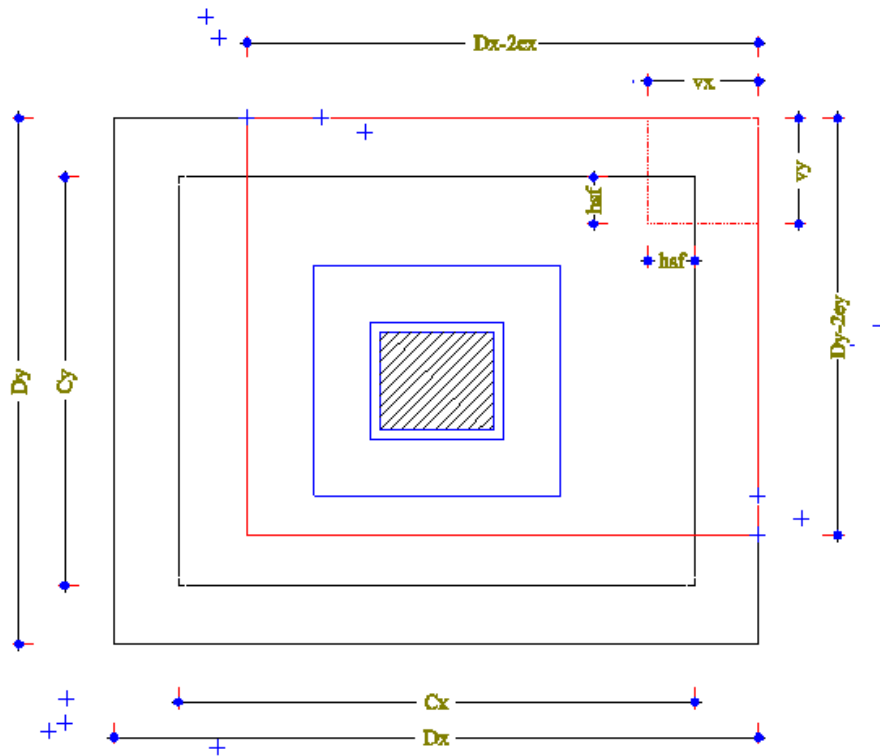
$$M_y = m_y \cdot C_x$$

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:

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

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

2.16.3) 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 di pressione $B' \times L'$.

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:

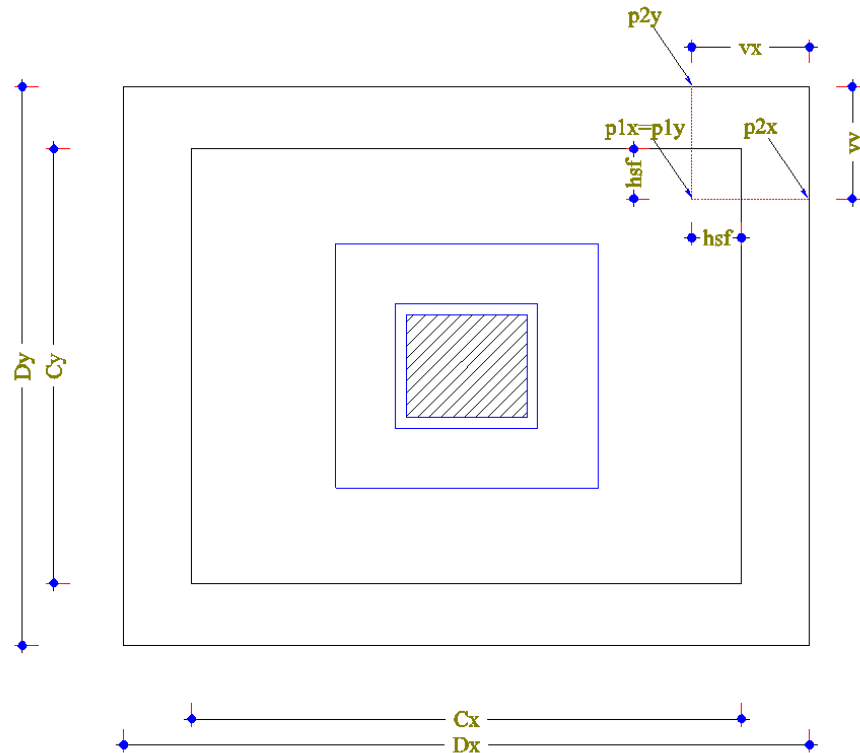
$$M_x = p \cdot Dy \cdot vx^2 / 2, \quad \text{per } Dx-2ex \geq vx$$

$$M_x = p \cdot Dy \cdot (Dx-2ex) \cdot (vx-(Dx-2ex)/2), \quad \text{per } Dx-2ex \leq vx$$

$$M_y = p \cdot Dx \cdot vy^2 / 2, \quad \text{per } Dy-2ey \geq vy$$

$$M_y = p \cdot Dx \cdot (Dy-2ey) \cdot (vy-(Dy-2ey)/2), \quad \text{per } Dy-2ey \leq vy$$

2.16.4) 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, nell'angolo più sollecitato, 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 i momenti 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:

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

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

2.17) 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 $f_{ck} \leq C50/60$.

2.18) 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.

2.19) Disegno del plinto

Il programma grafico CadNostrum collegato a PLIP 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 PLIP, 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 PLIP, 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 PLIP, 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 PLIP sono:

Autoload–PLIP.UdM

Autoload–PLIP.ICA

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

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

I file AutoLoad devono stare nella directory ...**PLIP** e generalmente sono modificabili solo con l’autorizzazione dell’amministratore.

4.2) Il file AutoLoad–PLIP.UdM

I file AutoLoad–PLIP.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