

SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE

IL CALCOLO DEI PLINTI AGLI STATI LIMITE

Plinti-SL software per il calcolo dei plinti di fondazione in cemento armato secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Aggiornato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni e le relative istruzioni contenute nella circolare n. 617/2009

di

CATERINA RUBINO, PAOLO IANNELLI



EPC LIBRI

INDICE GENERALE



Premessa	7
----------------	---

CAPITOLO 1

PROGRAMMA <i>Plinti-SL</i>	9
----------------------------------	---

1.1 L'installazione e la protezione del programma	9
---	---

1.2 La gestione dei file e la stampa dei risultati	10
--	----

CAPITOLO 2

1 PLINTI DI FONDAZIONE	13
------------------------------	----

2.1 Tipologia di plinti	14
-------------------------------	----

2.2 La descrizione dei plinti in <i>Plinti-SL</i>	15
---	----

CAPITOLO 3

IL TERRENO DI FONDAZIONE	17
--------------------------------	----

3.1 Concetti fondamentali di meccanica dei terreni	17
--	----

3.2 La descrizione del terreno in <i>Plinti-SL</i>	21
--	----

CAPITOLO 4

LE AZIONI SUI PLINTI	23
4.1 Le azioni di calcolo: combinazioni di carico	25
4.2 Le azioni in <i>Plinti-SL</i>	27
4.2.1 Le azioni caratteristiche	28
4.2.2 Le azioni di calcolo	32
4.2.3 I coefficienti parziali	33

CAPITOLO 5

LE VERIFICHE DI STABILITA' GEOTECNICA.....	37
5.1 Verifica allo scivolamento sul piano di posa.....	38
5.2 Verifica della capacità portante.....	39
5.3 Le verifiche geotecniche in <i>Plinti-SL</i>	44
5.3.1 La verifica a scorrimento	45
5.3.2 La verifica del carico limite	46
5.3.3 Le pressioni sul terreno	47

CAPITOLO 6

LE VERIFICHE STRUTTURALI	51
6.1 Legami costitutivi dei materiali	53
6.2 Verifica allo stato limite ultimo	55
6.3 Verifica allo stato limite di esercizio	61

6.4	Le verifiche strutturali in <i>Plinti-SL</i>	66
6.4.1	<i>La scelta dei materiali</i>	66
6.4.2	<i>La descrizione delle armature</i>	68
6.4.3	<i>Le verifiche a flessione e taglio</i>	70
6.4.3.1	<i>La verifica allo stato limite ultimo per flessione</i>	72
6.4.3.2	<i>La verifica allo stato limite ultimo per taglio</i>	73
6.4.3.3	<i>La verifica delle tensioni allo stato limite esercizio</i>	75
6.4.3.4	<i>La verifica a plinto alto</i>	76
6.4.4	<i>La verifica a punzonamento</i>	79

CAPITOLO 7

ESEMPI DI CALCOLO	81
7.1 Esempio n. 1	81
7.1.1 <i>Relazione di calcolo di Plinti-SL</i>	95
7.2 Esempio n. 2	109
7.2.1 <i>Relazione di calcolo di Plinti-SL</i>	125
Bibliografia.....	141



PREMESSA

In questi ultimi anni la normativa ha progressivamente introdotto ed imposto l'uso del metodo semiprobabilistico agli stati limite per la verifica delle costruzioni. Esso non sempre si presta ad un'immediata applicazione, specialmente nei settori come quello geotecnico, in cui i parametri di resistenza e le sollecitazioni sono spesso tra loro dipendenti ed in cui la definizione delle combinazioni di carico più sfavorevoli (nodo fondamentale del metodo) è complessa perché individuabile spesso soltanto attraverso una fase di calcolo quantitativamente onerosa. La laboriosità dei calcoli necessari anche per strutture semplici come i plinti di fondazione, rende indispensabile affidarsi a software specifici, il cui utilizzo richiede in ogni caso una particolare attenzione dell'utente nella lettura dei risultati in rapporto ai dati inseriti.

Nel presente testo vengono richiamati i concetti essenziali teorici e normativi del metodo semiprobabilistico agli stati limite, con specifico riferimento al calcolo dei plinti, ai relativi algoritmi ed alle scelte effettuate nel software "Plinti-SL". Ciò al fine di consentire all'utente, anche attraverso l'ausilio delle immagini di tutte le videate ed ai due esempi di calcolo sviluppati nell'ultimo capitolo, di effettuare in modo semplice e corretto la scelta dei parametri di progetto nella fase di input ed interpretare correttamente i risultati delle elaborazioni del programma in relazione alle effettive condizioni progettuali ed ai limiti di validità delle teorie di calcolo utilizzate. Le formulazioni riportate ed implementate nel software fanno specifico riferimento a quanto previsto nel decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e nelle relative istruzioni contenute nella circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture.



IL PROGRAMMA *PLINTI-SL*

Il programma "*Plinti-SL*" esegue la verifica dei plinti di fondazione in cemento armato, con sezione rettangolare, trapezia od a T rovescia, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare vengono eseguite le principali verifiche geotecniche (carico limite e scorrimento lungo il piano di posa) e le verifiche strutturali di un plinto soggetto all'azione derivante dai carichi permanenti e variabili e dall'eventuale sisma.

Relativamente ai carichi agenti sulla fondazione, il programma consente di inserire le azioni caratteristiche o direttamente le azioni di calcolo, derivanti da specifica analisi della struttura in elevazione. In quest'ultimo caso verranno valutate le azioni di calcolo derivanti da tutte le combinazioni di carico previste dalle norme. Per tutte le azioni di calcolo il programma esegue le verifiche previste, che possono essere condotte con l'approccio di tipo 1 o 2, a seconda della scelta dell'utente, visualizzando le combinazioni più svantaggiose.

Le verifiche strutturali vengono eseguite secondo la schematizzazione di plinto alto o di plinto snello, a seconda della geometria del plinto. In caso di plinto snello viene effettuata anche la verifica a punzonamento.

Il programma propone per default i valori dei coefficienti di sicurezza previsti dalla norma di riferimento, ma permette all'utente di modificarli sia per adeguarli a possibili aggiornamenti della norma stessa, sia per effettuare verifiche secondo quanto previsto dagli Eurocodici.

1.1 L'installazione e la protezione del programma

Il software viene fornito su CD-ROM. Una volta inserito, se l'utente dispone della versione con auto avvio, il sistema avvierà automaticamente la procedura di installazione, altrimenti l'utente dovrà:

- 1) dal tasto *Avvio* o *Start* selezionare il comando *Esegui* o "*Run*";
- 2) digitare la linea di comando: *d:\setup.exe* e premere il tasto *OK* per procedere all'installazione.



Il software *Plinti-SL* è dotato di un sistema di protezione il cui sblocco avviene solo dopo l'inserimento di un codice identificativo, fornito direttamente dalla EPC S.r.l., che ne permette l'installazione e l'utilizzo su una sola macchina.

Al software è associato un numero che identifica in modo univoco il computer sul quale viene installato (HardwareID) che viene visualizzato la prima volta all'avvio del programma, ed un codice etichetta riportato nella confezione del prodotto. A questi numeri deve essere associata una chiave di sblocco che deve essere richiesta direttamente alla EPC, collegandosi al sito <http://assistenza.insic.it> e seguendo le istruzioni ivi riportate.

L'assistenza fornirà il codice Key che, una volta inserito verrà registrato tramite il pulsante "OK" e non verrà più richiesto.

Il pulsante "Annulla", presente sulla finestra permette di uscire dall'applicazione senza completare la procedura di sblocco.

Plinti-SL può essere installato sui computer dotati di sistema operativo Windows98/ Me/NT/2000/XP/Vista. Tuttavia nel caso di sistema operativo Windows Vista potrebbe non essere utilizzabile la guida in linea; in tal caso basta scaricare il file WinHlp32.exe dall'Area download Microsoft (<http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?displaylang=it&FamilyID=6ebcfad9-d3f5-4365-8070-334cd175d4bb>). Il download è disponibile se si eseguono installazioni Microsoft Windows autentiche.

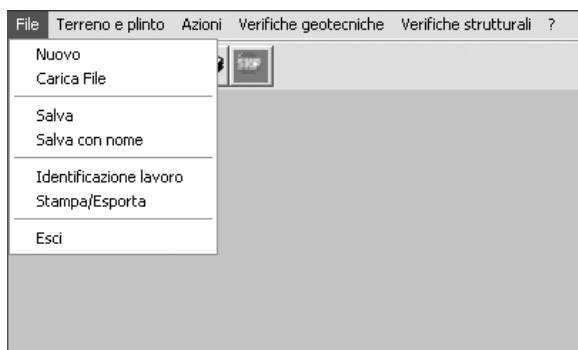
1.2 La gestione dei file e la stampa dei risultati

Il programma "*Plinti-SL*" opera in ambiente Windows e presenta la facilità d'uso e l'interattività tipica di tale sistema. In particolare è gestito attraverso una serie di menu a tendina, ordinata per operazioni omogenee. Una barra degli strumenti contiene i principali comandi di gestione dei file e di stampa.

L'input dei dati avviene mediante caselle di testo; per spostarsi fra le varie caselle, oltre al puntatore del mouse, si può utilizzare il tasto TAB, le frecce Up e Down oppure il tasto ENTER.

Sotto la voce di menu "File" si trovano i comandi "**Nuovo**", "**Carica file**", "**Salva**" e "**Salva con nome**" che permettono di predisporre il programma per la creazione di un nuovo file, di caricare un file precedentemente salvato e di sal-

vare un file, richiamando le usuali finestre di Windows.

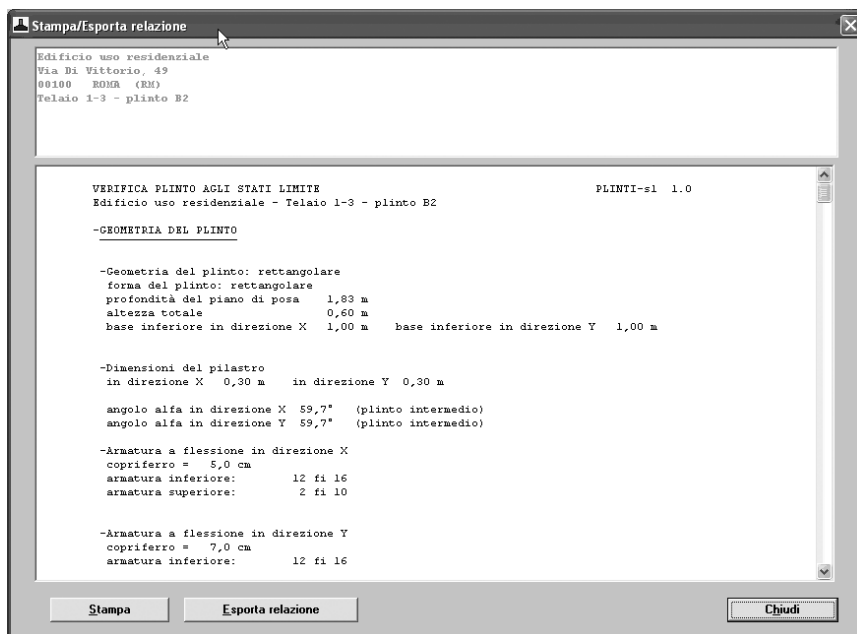


Attraverso il comando **“Identificazione lavoro”** possono essere inseriti i dati relativi all’anagrafica del lavoro ed all’identificazione del plinto oggetto di verifica. I dati qui inseriti vengono riproposti all’inizio della relazione di calcolo, mentre l’identificazione del lavoro e del plinto viene ripetuta all’inizio di ogni pagina di stampa.

Identificazione del lavoro		
Edificio uso residenziale		
Indirizzo		
Via Di Vittorio, 49		
c. a. p.	Comune	Provincia
00100	ROMA	RM
Identificazione plinto		
Telaio 1-3 - plinto B2		
<input type="checkbox"/> inserisci nome del file dati		
<input type="checkbox"/> inserisci data		
Chiudi		

Il programma predispone inoltre la relazione di calcolo, che può essere stampata direttamente od esportata in un file come documento di testo. Il comando **“Stampa/Esporta”**, infatti, apre una finestra in cui si visualizza l’identificazione del lavoro e l’anteprima di stampa.





Cliccando sul pulsante **“Esporta relazione”** è possibile creare un file di testo contenente la relazione di calcolo, dopo aver chiesto conferma del nome e del percorso di allocazione del file stesso attraverso la finestra standard di Windows. Cliccando sul pulsante **“Stampa”** si apre l’usuale finestra di Windows che permette di gestire la stampa della relazione di calcolo.

Per evitare incongruenze fra i dati inseriti e l’output, il programma esegue tutti i calcoli non solo all’apertura delle finestre delle verifiche, ma anche prima di procedere con le operazioni di stampa: in tal modo l’utente dopo aver inserito o modificato i dati di input, può accedere direttamente alla stampa della relazione.

Il comando **“Esci”** termina l’esecuzione del programma.

All’atto della installazione **“Plinti-SL”** crea, nella stessa directory del programma, i file dati **“Esempio1.fsl”** ed **“Esempio2.fsl”**, relativo agli esempi di calcolo riportati nel capitolo 7 (vedi pag. 81).

I PLINTI DI FONDAZIONE

La fondazione costituisce l'elemento strutturale che vincola al terreno la struttura in elevazione. In funzione del tipo e del grado di vincolo, realizzato dall'interazione terreno-struttura, e quindi dei gradi di libertà limitati, si generano le reazioni vincolari tra la struttura in elevazione e la fondazione. Per il principio di azione-reazione tali reazioni vincolari vengono trasmesse al terreno attraverso l'elemento di fondazione. Lo stato tensionale generato alla base di appoggio dovrà garantire l'equilibrio dell'elemento di fondazione considerato come corpo rigido; esso induce uno stato tensionale aggiuntivo a quello preesistente in un intorno più o meno diffuso e profondo del terreno stesso che va sotto il nome di *bulbo di fondazione*.

La variazione del livello tensionale induce nel terreno una deformazione più o meno lenta e può determinare cedimenti della fondazione che dovranno essere compatibili per la struttura sovrastante, sia in termini di sollecitazioni che di deformazioni indotte.

In relazione all'estensione ed allo sviluppo della fondazione, si possono distinguere le fondazioni a *plinto*, in generale utilizzate per le strutture intelaiate in cemento armato normale o precompresso o in acciaio, le fondazioni a *travi rovesce*, utilizzate prevalentemente per strutture intelaiate in zona sismica, a pannelli portanti prefabbricati od in muratura, le fondazioni a *platea*, utilizzate quando la portanza del terreno è molto bassa, quando si vogliono limitare molto i cedimenti assoluti e soprattutto quelli relativi, ovvero quando è necessaria una notevole rigidezza dell'insieme fondazione-struttura. In quest'ultimo caso si ricorre in particolare alle fondazioni *scatolari*, costituite da una platea irrigidita da un graticcio di travi alte, collaboranti con il primo solaio della struttura in elevazione.

Nelle strutture intelaiate, quando la dimensione in pianta dei plinti è tale da rendere esigua la distanza tra essi, risulta più funzionale ed economico ricorrere alle travi rovesce o alla platea, a seconda se ciò avviene solo in una direzione o in entrambe. In modo analogo, la necessità di garantire il collegamento dei plinti per contrastare le forze orizzontali, ad esempio in zona sismica, può indurre a preferire la realizzazione di travi rovesce.



2.1 Tipologia di plinti

Il *plinto* di fondazione costituisce sostanzialmente un allargamento della superficie di contatto tra il pilastro ed il terreno, con pianta a forma quadrata, rettangolare, poligonale o circolare, spesso omotetica a quella della sezione trasversale del pilastro. Le dimensioni della superficie d'appoggio devono essere tali da soddisfare le verifiche geotecniche e la compatibilità con le deformazioni ammesse per la sovrastante struttura. L'allargamento tra la sezione trasversale del pilastro e quella della base del plinto può avvenire:

- 1) in modo graduale, con un plinto tronco piramidale che determina sezioni resistenti ad altezza variabile;
- 2) in modo discontinuo, con un plinto prismatico di più facile realizzabilità o, per altezze notevoli, con un plinto a gradoni.

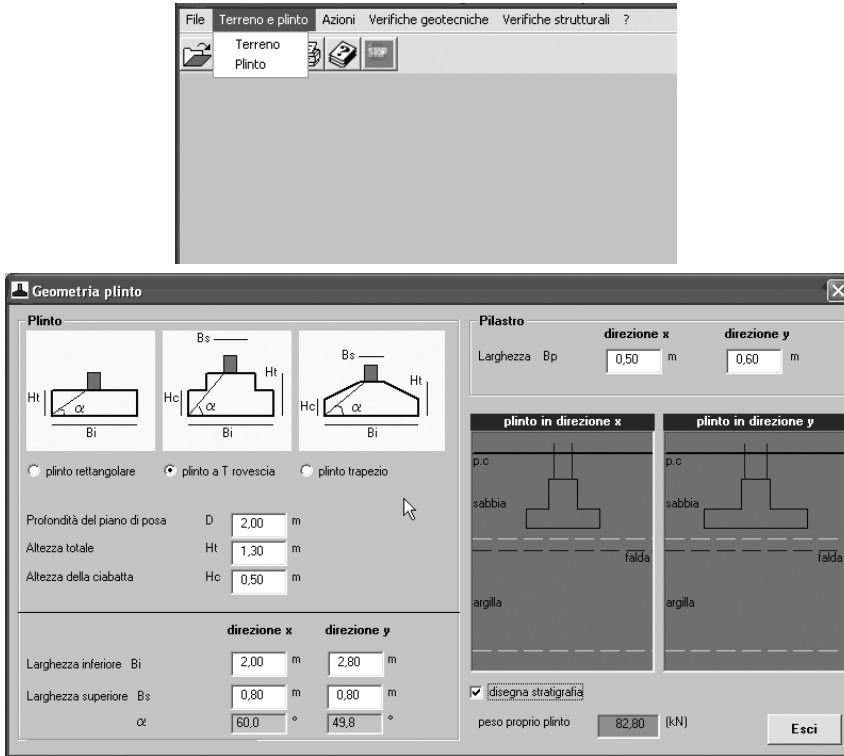
Un'ulteriore distinzione può essere fatta tra plinti superficiali o diretti, e plinti su pali od indiretti. I plinti superficiali trasferiscono le azioni al terreno esclusivamente attraverso la pressione di contatto della superficie di base della fondazione, il cosiddetto piano di posa, collocato generalmente a profondità modeste. I plinti su pali, al contrario, trasferiscono le azioni attraverso elementi lineari, i pali di fondazione, generalmente a sezione circolare, il cui numero totale, l'inclinazione e le dimensioni (lunghezza e diametro), dipendono dalle caratteristiche geotecniche del terreno, dall'intensità e dalla tipologia delle azioni da trasmettere nonché dalla compatibilità con i valori ammissibili dei cedimenti.

Nel caso dei plinti su pali, la fondazione risulta costituita dall'insieme soletta-pali, in cui la soletta di fondazione assume la funzione statica di piastra di ripartizione e di testata dei pali.

Nel caso di plinti superficiali la profondità del piano di posa è determinata prevalentemente dalla necessità di realizzare un piano di appoggio omogeneo fra le varie parti della struttura sovrastante, nonché di raggiungere lo strato di terreno con caratteristiche geotecniche sufficienti a garantire l'affidabilità della fondazione nei riguardi della portanza e dei cedimenti. A tal fine è necessario superare la parte di terreno superficiale, denominata "*coltre vegetale*", in cui possono risentirsi variazioni delle caratteristiche fisiche connesse con le condizioni climatiche ed ambientali ed in cui le caratteristiche geotecniche sono spesso scadenti.

2.2 La descrizione dei plinti in *Plinti-SL*

In *Plinti-SL* la geometria del plinto va descritta nel quadro "Geometria plinto" a cui si accede dal comando "Plinto", del menu "Terreno e plinto".



Preliminarmente occorre selezionare la tipologia di plinto da verificare (rettangolare, a T rovescia o trapezio) tramite il relativo pulsante di opzione; per ciascuno dei tre casi possibili, un'immagine grafica fissa specifica il significato dei dati richiesti. In particolare questi sono:

- 1) la profondità D del piano di posa;
- 2) l'altezza totale del plinto H_t ;
- 3) l'altezza della ciabatta H_c ;
- 4) la larghezza inferiore B_i del plinto in direzione x ed in direzione y ;
- 5) la larghezza superiore B_s del plinto in direzione x ed in direzione y ;

Se si seleziona un plinto di forma rettangolare vengono richiesti, oltre alla profondità del piano di posa, soltanto l'altezza H_t e la larghezza B_i nelle due direzioni, essendo superflui gli altri dati.



Viene inoltre richiesta la dimensione B_p del pilastro sovrastante nelle due direzioni x e y . Questo dato serve per calcolare l'angolo α , determinato dall'inclinazione della retta congiungente lo spigolo esterno del pilastro con lo spigolo della base inferiore del plinto. L'angolo α , visualizzato in un'apposita etichetta per le due direzioni x , y , determina il meccanismo resistente che verrà preso in esame per le verifiche strutturali. In particolare potranno verificarsi i seguenti casi:

- $\alpha \leq 25^\circ$: plinto basso. Il programma eseguirà la verifica a flessione e taglio adottando lo schema statico a mensola;
- $\alpha \geq 60^\circ$: plinto alto. Il programma eseguirà la verifica secondo il meccanismo di tirante-puntone;
- $25^\circ < \alpha < 60^\circ$: plinto medio. Il programma eseguirà sia la verifica con lo schema statico a mensola, sia quella secondo il meccanismo di tirante-puntone.

In caso di schema statico a mensola le dimensioni del pilastro sono altresì importanti per determinare la posizione delle sezioni di incastro della mensola, che viene ipotizzata infatti all'interno del pilastro, ad una distanza pari $0,15 B_p$ rispetto al bordo esterno del pilastro.

Le dimensioni del pilastro sono inoltre essenziali per poter effettuare l'eventuale verifica a punzonamento.

Il plinto così descritto viene visualizzato in scala per entrambe le direzioni. Sulla stessa immagine è possibile visualizzare il disegno della stratigrafia del terreno inserita, selezionando il check "**disegna stratigrafia**".

Un'etichetta riporta il peso proprio del plinto, utile ai fini del computo metrico dell'opera. Tale valore verrà tenuto in conto automaticamente da *Plinti-SL* nelle azioni di calcolo.