

Nuans

Questa guida

Questa guida si riferisce all'ambiente Nuans per la progettazione e verifica geotecnica degli elementi di fondazione, della Softing srl e ne descrive le funzioni principali.

© 2014-2021 Softing srl. Tutti i diritti riservati.

Creazione: 12 marzo 2021

Accordo di licenza d'uso del software Softing

1. Licenza. A fronte del pagamento del corrispettivo della licenza, compreso nel prezzo di acquisto di questo prodotto, e all'osservanza dei termini e delle condizioni di questa licenza la Softing s.r.l., nel seguito Softing, cede all'acquirente, nel seguito Licenziatario, un diritto non esclusivo e non trasferibile di utilizzo di questa copia di programma software, nel seguito Software.

2. Proprietà del software. La Softing mantiene la piena proprietà di questa copia di programma Software e della documentazione ad essa allegata. Pertanto la Softing non vende alcun diritto sul Software sul quale mantiene ogni diritto.

3. Utilizzo del software. Questo Software contiene segreti commerciali. È espressamente proibito effettuare copie o modifiche o re-ingegnerizzazioni, sotto qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo, anche parziali, del Software e della documentazione a esso allegata. Il Licenziatario è responsabile a tutti i fini legali per qualunque infrazione causata o incoraggiata dalla non osservanza dei termini di questa licenza. È consentito effettuare una sola copia del Software esclusivamente per installazione su un solo disco rigido.

4. Cessione del software. Il software viene ceduto in licenza unicamente al Licenziatario e non può essere ceduto a terzi. In nessun caso è consentito cedere, assegnare, affidare, affittare o disporre in altro modo del Software se non nei termini qui espressamente specificati.

5. Cessazione. Questa licenza ha la durata di anni dieci. Il Licenziatario può porvi termine in ogni momento con la completa distruzione del Software. Questa licenza si intende cessata, senza onere di comunicazione da parte di Softing, qualora vi sia inadempienza da parte del Licenziatario delle condizioni della licenza.

6. Esonero della garanzia del software. Il Licenziatario si fa carico di ogni rischio derivante, dipendente e connesso all'uso del Software. Il Software e la relativa documentazione vengono forniti nello stato in cui si trovano. Softing si esonera espressamente da ogni garanzia espressa o implicita ivi inclusa, ma senza limitazioni, la garanzia implicita di commerciabilità e di idoneità del prodotto a soddisfare particolari scopi. Softing non garantisce che le funzioni contenute nel Software siano idonee a soddisfare le esigenze del Licenziatario né garantisce una operatività ininterrotta o immune da difetti del Software né che i difetti riscontrati nel software vengano corretti. Softing non garantisce l'uso o i risultati derivanti dall'uso del Software e della documentazione né la loro correttezza, affidabilità e accuratezza. Le eventuali informazioni orali o scritte di esponenti o incaricati di Softing non inficiano questo esonero di garanzia.

7. Limitazioni di responsabilità. Softing è espressamente sollevata da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto o indiretto, di ogni genere e specie, derivante dall'uso o dal non uso del Software e della relativa documentazione. In ogni caso i limiti di responsabilità di Softing nei confronti del Licenziatario per il complesso dei danni, delle perdite, e per ogni altra causa, sarà rappresentato dall'importo dal Licenziatario corrisposto a Softing per il relativo Software.

8. Foro esclusivo. In caso di controversie relative a questo accordo, sarà esclusivamente competente a decidere l'Autorità Giudiziaria di Roma.

9. Obbligatorietà ed interezza dell'Accordo. Il Licenziatario, avendo letto il testo che precede ed avendo riscontrato che questa Licenza e la Garanzia Limitata che contiene sono accettabili, le accetta senza condizioni e conferma, con l'atto di accettare l'installazione del Software, la sua volontà di vincolarsi alla scrupolosa osservanza di questo Accordo. Il Licenziatario dà altresì atto che quanto precede costituisce la totalità delle intese intercorse e che pertanto esso annulla e sostituisce ogni eventuale precedente accordo o comunicazione tra le parti.

SOFTING NON GARANTISCE CHE LE FUNZIONI CONTENUTE NEL SOFTWARE SIANO IDONEE A SODDISFARE LE ESIGENZE DEL LICENZIATARIO NÉ GARANTISCE UNA OPERATIVITÀ ININTERROTTA O IMMUNE DA DIFETTI DEL SOFTWARE NÉ CHE I DIFETTI RISCONTRATI VENGANO CORRETTI. SOFTING NON GARANTISCE L'USO O I RISULTATI DERIVANTI DALL'USO DEL SOFTWARE E DELLA DOCUMENTAZIONE NÉ LA LORO CORRETTEZZA, AFFIDABILITÀ E ACCURATEZZA.

Le informazioni contenute in questo documento sono soggette a cambiamento senza preavviso e non costituiscono impegno alcuno da parte della Softing s.r.l. Nessuna parte di questo manuale e per nessun motivo può essere utilizzata se non come aiuto all'uso del programma.

Nòlian è registrato presso il Registro Pubblico Speciale per i programmi per Elaboratore in data 14/07/2000 al progressivo 001629, ordinativo D002017; EasyBeam in data 14/05/96 al progressivo 000348, ordinativo D000409; EasySteel in data 14/05/96 al progressivo 000346, ordinativo D000407; EasyWall in data 14/05/96 al progressivo 000347, ordinativo D000408; MacSap in data 23/11/97 al progressivo 000222, ordinativo D000264, ArchiLink in data 14/07/2000 al progressivo 001630, ordinativo D002018.

Softing®, il logo Softing, Nòlian®, il logo Nòlian®, Mac-Sap®, MacBeam®, CADSap®, EasyWall®, EasySteel®, EasyBeam®, EasyFrame®, EasyWorld®, HyperGuide®, Sap-Script®, FreeLite®, inMod® sono marchi registrati di Softing s.r.l.

Novità

Edizione revisionata 2019.

Presentazione di Nuans

Il nome di questo ambiente, NuAnS, sta per Numerical Analysis of Soil perché con tale nome si intende sottolineare l'approccio orientato alla soluzione numerica dei problemi di geotecnica più che alla loro soluzione tramite formule nate per una manipolazione "manuale". Per una soluzione FEM dei problemi di geotecnica, vi è invece l'ambiente Earthquake Engineering con i suoi elementi finiti specifici per la modellazione non lineare del suolo.

Nell'ambiente di analisi vi sono elementi finiti impiegati per modellare l'interazione suolo terreno, generalmente elastici ma anche elasto-plastici, se lo si desidera. Ma, benché ciò sia possibile impiegando elementi specializzati per modellare il suolo, generalmente il modello della struttura approssima l'interazione suolo struttura solo ai fini delle necessità di effettuare le necessarie valutazioni sulla struttura in elevazione.

Si rende pertanto necessario verificare gli aspetti prettamente geotecnici, e cioè il rapporto che gli elementi di fondazione hanno con il suolo.

Questo ambiente, NuAnS, è dedicato alla post elaborazione delle informazioni e delle sollecitazioni ottenute tramite l'analisi e costituisce un necessario completamento degli aspetti progettuali in quanto rende inutile la faticosa e spesso pericolosa trascrizione dei dati in ambienti di geotecnica specializzati. Per questo motivo di voler agire in modo congruente con il modello di calcolo, in questo ambiente non vi è una collezione di procedure per la geotecnica ma vi sono i metodi più attuali proprio per la verifica del modello di calcolo e per il completamento delle operazioni progettuali che su esso devono essere eseguite.

Pertanto i problemi geotecnici affrontati sono le verifiche di resistenza e di esercizio di:

- plinti
- pali
- travi di fondazione
- platee di fondazione

Va da se, che la progettazione e la verifica degli elementi strutturali di fondazione è sempre delegata agli ambienti relativi.

Come nella nostra consueta filosofia di progetto del software, si è tentato di avere un approccio molto ergonomico tentando di usare la potenza di calcolo per semplificare il lavoro del progettista. Si sono impiegati ove possibile metodi numerici più che formule nate per essere valutate senza mezzi di calcolo automatico. Nel cedimento del palo si è usato ad esempio il Boundary method per la soluzione delle equazioni di Mindlin. La scelta dei metodi è molto agevole e si è tentato di dividere al massimo gli ambiti delle “caratteristiche” senza confonderle in un approccio “per problemi strutturali”. Cioè, con un esempio, la descrizione della stratigrafia non va modificata in funzione dell'elemento strutturale, la scelta dei metodi e dei modelli è a priori e non legata alla attività successiva di verifica, in tal modo gli ambiti operativi sono molto chiari.

Nella descrizione, in seguito, delle verifiche, saranno anche elencati i modelli di calcolo usati. Una sezione è dedicata ai [metodi teorici](#) applicati.

Oggetto di un futuro ampliamento sono i seguenti temi:

- stratigrafie differenziate per elemento per modellare un suolo con variazioni
- pali in gruppo
- micropali

Assegnazione di plinti e pali

Le travi e le piastre di fondazione sono elementi finiti dedicati alla interazione con il suolo ed impiegano il modello del semispazio elastico di Winkler. Pertanto hanno una stretta relazione con gli elementi strutturali.

I plinti e i pali, come abbiamo visto, possono essere introdotti nel modello di calcolo con vari metodi, ma nel modello FEM non vi sono i dati necessari alla loro trattazione sotto il profilo geotecnico. Pertanto, sempre nell'ottica di lasciare la massima libertà a chi progetta, tali elementi possono avere un modello di calcolo ed un diverso modello di verifica geotecnica, Per tali motivi, mentre le travi e le piastre Winkler non richiedono ulteriori assegnazioni, i Plinti ed i Pali devono essere assegnati.

Per gli elementi boundary, si fa notare come le armature possano essere progettate in EasyBeam: è sufficiente assegnare loro la sezione.

L'assegnazione avviene associando ad un elemento verticale uno di questi elementi. Il plinto viene associato automaticamente alla estremità inferiore di un elemento monodimensionale verticale, il palo può essere associato all'elemento come il plinto, ma, nel caso venga associato ad un elemento boundary, esso ha la parte superiore coincidente con l'estremo superiore dell'elemento boundary.

Poiché questi elementi di calcolo (non elementi finiti!) sono associati ad elementi del modello di calcolo, per selezionarli occorre selezionare l'elemento cui sono associati, e non il simbolo che rappresenta l'oggetto di fondazione. Nella rappresentazione grafica, si è usata una rappresentazione “spartana” per ricordare sempre all'utilizzatore che si tratta di modelli e non della realtà volumetrica ed architettonica.

La selezione può essere anche multipla come in tutti gli ambienti di All-In-One, ossia tenendo premuto il tasto Shift si esegue la selezione multipla.

I comandi di assegnazione dei pali e dei plinti si trovano nel gruppo di icone più in alto. Le prime tre icone a sinistra, in figura non rese grigie, attengono alle seguenti funzioni:



- Dati plinto
- Dati palo
- Elimina dati

Una volta attivato il comando opportuno, selezionando l'elemento finito al quale si vuole assegnare l'elemento di calcolo, vengono visualizzate le finestre di dialogo di assegnazione.



Per il plinto devono essere inserite le dimensioni (lati ed altezza) e l'eventuale carico agente sulla superficie di estradosso del plinto.

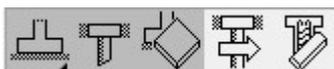
Per i pali devono essere inseriti diametro e lunghezza dell'elemento.

Nel dialogo di assegnazione, qualora si siano selezionati elementi con caratteristiche diverse, il campo editabile con questi valori viene disabilitato ed un bottone con la dicitura "Sblocca" dà la possibilità di rendere il campo editabile. Nel caso il campo sia disabilitato, vengono mantenuti i valori diversi tra gli elementi selezionati, altrimenti vengono assegnati a tutti nuovi valori.

Quando si genera un elemento Plinto, viene anche generato il corrispondente elemento plinto in EasyBeam in modo che possa essere trattato come elemento strutturale.

Se si dispone di questo ambiente, in EasyBeam vengono inibite le possibilità di assegnare i plinti per non generare delle ambiguità.

E' possibile generare elementi palo in EasyBeam per il progetto delle armature. Questa funzione è gestita dalle ultime due icone della prima riga nella palette che nella figura seguente non sono in grigio.



Il comando associato alla prima icona genera l'elemento in EasyBeam, la seconda serve a cancellarlo da EasyBeam.

I dati geometrici sono quelli assegnati in Nuans, gli sforzi invece vengono assegnati solo alla testa del palo in quanto sono gli unici noti nel modello FEM e, si presume, i più gravosi. Gli elementi "palo" in EasyBeam vengono distinti dagli elementi pilastro e quindi non vengono applicate le prescrizioni di normativa per i pilastri, ma solo quelle per i pali. L'armatura sia trasversale che longitudinale è uniforme ed è la massima relativamente alle sollecitazioni assegnate.

Poiché è ovviamente impossibile valutare "a posteriori" le sollecitazioni lungo il palo, qualora queste fossero importanti al

fine del progetto, si può ricorrere ad una modellazione FEM che includa dei boundary che modellano la rigidità laterale del terreno.

Le platee

Con il termine "platea" abbiamo voluto indicare sinteticamente un gruppo di elementi bidimensionali di tipo "piastra Winkler". Quando viene richiesta una verifica a uno di questi gruppi di elementi, il programma individua tutti gli elementi connessi all'elemento finito selezionato e conduce le operazioni su questo insieme di elementi considerato nella sua totalità.

Le sovrappressioni nel semispazio elastico vengono ottenute per integrazione dei contributi di tutti gli elementi finiti e pertanto questo metodo consente di tenere correttamente in considerazione anche la effettiva rigidità della piastra. I metodi disponibili invece per la valutazione della portanza non consentono una valutazione in un punto o in un'area specifici e pertanto è richiesto di definire una impronta rettangolare equivalente. Ciò viene fatto automaticamente. Va però detto che è previsto un coefficiente di redistribuzione che permette di tener conto del fatto che la portanza di una piastra di grandi dimensioni è piuttosto diversa da quella di un semplice rettangolo quale può essere un plinto. In tal modo è possibile valutare la portanza e quindi la resistenza in tutti i punti richiesti della piastra in modo da poter conoscere il comportamento puntuale e non soltanto quello medio e ciò implica anche che la rigidità effettiva della piastra viene tenuta in considerazione tramite tale metodo.

Va segnalato che allo stato attuale dell'implementazione, è possibile analizzare una sola platea alla volta, vista la grande mole di dati che viene coinvolta in ogni operazione, per cui nelle rappresentazioni grafiche non è possibile rappresentare più platee in una singola immagine.

Nel caso della stampa dei risultati, si è ritenuto del tutto inutile riportare le verifiche per ogni elemento finito e si è affidato al programma il compito di verificare tutti gli elementi come detto sopra e riportare i risultati relativi al minimo coefficiente di sicurezza individuato per la verifica specifica. Se lo si preferisce, si può considerare questo procedimento come la verifica dell'intera platea sottoposta mediamente alle più gravose condizioni.

Comandi

I comandi disponibili nell'ambiente Nuans sono i seguenti.

Nel menu "Funzioni" sono presenti i comandi:

- Laboratorio
- Opzioni Rappresentazione
- Opzioni Verifica
- Cedimenti differenziali
- Scorrimento globale

Dalla palette è possibile attivare i seguenti comandi.

Nel gruppo di icone più in alto:

- Dati plinto
- Dati palo
- Elimina dati

Questi comandi si riferiscono alla assegnazione di pali e plinti descritta nella apposita [sezione](#).

Il secondo gruppo di icone si riferisce alle verifiche sia numeriche che grafiche.

- Verifica numerica
- Rappresentazione della Deflessione di calcolo
- Rappresentazione del Cedimento elastico
- Rappresentazione del Cedimento edometrico
- Rappresentazione della Pressione
- Rappresentazione del Fattore di sicurezza portanza

Oltre ai comandi sopra elencati, sono presenti anche i comandi comuni a tutti gli ambienti e cioè il menu “Carichi” e l'icona di “Stampa” dei tabulati con i risultati di calcolo: Per tali comandi si rimanda alle guide degli altri ambienti.

Opzioni di verifica

Nell'ambiente Nuans, la prima operazione da effettuare è l'assegnazione dei dati di input geotecnici e le opzioni di calcolo e verifica.

Tale operazione si esegue selezionando dal menu “Funzioni” la voce “Opzioni di verifica”. Si accede ad un dialogo multi-pagina con le seguenti pagine

- Opzioni
- Coefficienti
- Fondazioni
- Stratigrafia
- Grafico

Opzioni

E' possibile assegnare le unità di misura con cui l'utente desidera operare. Sono le stesse dell'ambiente EasyBeam e pertanto se sono state già impostate, non occorre qui definirle nuovamente.

Coefficienti

Nella pagina “Coefficienti” è possibile assegnare i coefficienti di combinazione e di sicurezza. Qualora dall'apposito menu si scelga un “approccio” secondo DM08, vengono proposti i valori prescritti da tale normativa. È comunque possibile assegnare liberamente i coefficienti voluti. I coefficienti unitari suggeriti da NTC18 vanno assegnati a mano.

L'approccio suggerito dalla Circolare alla NTC18 è l'approccio 2, ma l'utilizzatore può scegliere l'approccio voluto. Inoltre è possibile scegliere gli stati limite voluti che verranno formati nelle combinazioni: SLV, SLD o entrambi. I fattori per le combinazioni sono assegnabili. La NTC18 suggerisce fattori unitari.

Verifiche geotecniche

Opzioni | Fondazioni | Coefficienti | Stratigrafia | Grafico

Coefficients parziali M parametri terreno		Settaggio autom. coeff. normativa	
Tangente angolo resist. taglio	1.00000	Approccio	2: A1+M1+R3
Coesione efficace	1.00000	<input checked="" type="checkbox"/> SLV	
Resistenza non drenata	1.00000	<input checked="" type="checkbox"/> SLD	
Peso unità di volume	1.00000		
Fattori sicurezza R fondazioni superficiali		Fattori sicurezza R fondazioni profonde	
Portanza	2.30000	Tipo palo	Trivellato
Scorrimento	1.10000	Resistenza alla base	1.35000
Coefficients gamma in combinazione A		Laterale di compressione	1.15000
Permanente sfavorevole	1.30000	Laterale di trazione	1.25000
Variabile sfavorevole	1.50000	Carichi trasversali	1.30000
		Verticali indagate	N.A. 1.00000

OK

I coefficienti R delle fondazioni profonde sono dipendenti dalla tecnologia di palo utilizzato, occorre quindi scegliere la tipologia nel menù "Tipo palo". Impiegando inoltre il menù "Verticali indagate", i coefficienti vengono moltiplicati per il fattore ξ previsto dalla normativa. Se si desidera assegnare un moltiplicatore, si può selezionare da tale menù la voce N.A. (non assegnato).

Fondazioni

Nella pagina "Fondazioni" è possibile assegnare i valori impiegati nelle verifiche, che sono indipendenti dalla stratigrafia o da singolo elemento di fondazione.

Dati geotecnici

Angolo di attrito fondazione

utilizzato per la verifica a scorrimento delle fondazioni superficiali.

Angolo di attrito palo terreno

questo valore viene impiegato nel calcolo della portanza laterale del palo. Se si assegna un valore nullo, viene assunto il valore dell'angolo di attrito della stratigrafia, eventualmente modificato in funzione del tipo di palo come precisato nella [sezione teorica](#).

Se si desidera trascurare la resistenza laterale, assegnare a questo parametro un valore molto piccolo, ad esempio 0.01.

Coeff. Alfa per pali

impiegato per la verifica con il metodo Alfa, come descritto nella parte teorica

Coeff. K spinta orizz.

coefficiente per la valutazione della pressione di attrito per la valutazione della portanza laterale dei pali. Si può assegnare un valore voluto oppure selezionate uno dei valori predefiniti. In tal caso, secondo l'opzione selezionata il coefficiente di spinta

orizzontale

K_p = coefficiente di spinta passiva (in genere per pali infissi)

K_a = coefficiente di spinta attiva (in genere per pali trivellati)

K_0 = coefficiente di spinta in quiete **ATTENZIONE** Se si è assegnata una stratigrafia, questi dati vengono ignorati.

Dati geometrici

Profondità piano di posa

Profondità falda

Tempo massimo per la valutazione dei cedimenti a lungo termine

Spostamento massimo di confronto nella rappresentazione dei risultati

Metodi

In questa sezione è possibile selezionare i metodi di calcolo della resistenza, i metodi di calcolo del cedimento per i terreni a grana grossa. I metodi disponibili sono i seguenti.

Teoria resistenza

- Hansen
- Brinch-Hansen
- Vesic
- Eurocodice 7

Per i pali l'unico metodo implementato è Beretzantzev e pertanto non sono disponibili opzioni.

Teoria cinematica

- Paolucci e Pecker
- Maugeri

Terreni a grana grossa

- Schmertmann
- Burland-Burbidge

Semispazio elastico

- Boussinesq
- Westergaard

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | **Stratigrafia** | Grafico

Fondazioni

Angolo attrito fondazione (°) 30.0000

Angolo attrito palo (°) 30.0000

Coeff. alfa per pali 1.00000

Coeff K spinta orizz. Kp

Profondità piano di posa 4.00000

Viscosità

Tempo in anni 30.0000

Falda

Profondità falda (positiva) 4.00000

Rappresentazione

Spost. max. di confronto 0.000000

Metodi

Teoria resistenza Brinch-Hansen

Teoria cinematica Nessuno

Terreni grana grossa Schmertmann

Semispazio elastico Boussinesq

Punzonamento considerato in portanza

OK

Stratigrafia

In questa pagina è possibile definire la stratigrafia che descrive il modello geotecnico di riferimento. Si può operare tramite i bottoni "Aggiungi", "Rimuovi", "Duplica" per le operazioni relative.

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturo	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'
200.00	Terreno di riporto			Fine	0.0019	0.0026	20.000000	0.001000	0.000000
500.00	Sabbia ghiaiosa			Grossa	0.0018	0.0018	32.000000	0.000000	0.000000
300.00	Argilla sabbiosa			Fine	0.0020	0.0020	26.000000	0.150000	0.000000
700.00	Limo con argilla sabbiosa			Fine	0.0019	0.0019	28.000000	0.120000	0.000000
1000.00	Ghiaia limosa			Grossa	0.0021	0.0021	35.000000	0.000000	0.000000

Aggiungi Rimuovi Duplica

OK

Verifiche geotecniche

Opzioni	Coefficienti	Fondazioni	Stratigrafia	Grafico							
aturo	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu	Coeff. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
026	20.000000	0.001000	0.000000	5000.00	0.00	1.00	0.7200	0.02	0.20	0	0.00
018	32.000000	0.000000	0.000000	250000.00	250.00	1.00	0.5200	0.12	0.43	13	45000.00
020	26.000000	0.150000	0.000000	450000.00	250.00	1.00	0.6300	0.08	0.36	11	23800.00
019	28.000000	0.120000	0.000000	600002.50	250.00	1.00	0.5900	0.07	0.31	14	31500.00
021	35.000000	0.000000	0.000000	800000.00	250.00	1.00	0.8000	0.18	0.54	17	68700.00

Aggiungi Rimuovi Duplica

OK

I parametri che devono essere definiti per ogni strato sono i seguenti.

Spessore:

Indica lo spessore relativo del singolo strato;

Descrizione:

Nome indicato dall'utente per individuare il singolo strato;

Colore:

dal menù di questa cella si seleziona il colore con cui uno strato viene rappresentato nel grafico;

Campitura:

dal menù di questa cella si seleziona la campitura con cui uno strato viene rappresentato nel grafico;

Grana:

richiede la tipologia di terreno (Grana fine/grossa) e determina il modello applicato allo strato;

gNaturale:

rappresenta il peso specifico dello strato in sito (è definito dal rapporto $g = V_{tot}/P_{tot}$);

gSaturo:

rappresenta il peso specifico dello strato in condizioni sature;

Phi(°):
angolo di attrito del terreno in gradi sessadecimali

Coes.cu :
coesione non drenata

c' :
Coessione drenata

Eu:
Modulo elastico in condizioni non drenate (è utilizzato per il calcolo del cedimento elastico nei terreni a grana fine). Il valore inserito è riferito al punto medio sullo spessore dello strato;

Coeff. m:
coefficiente che descrive la variazione del modulo Eu con la profondità secondo la legge lineare $E_u(z) = E_u + mz$

O.C.R.:
grado di sovra-consolidazione dello strato;

eo:
Indice dei vuoti, il valore inserito è riferito al punto medio sullo spessore dello strato;

Cs:
Indice di rigonfiamento ricavabile dalla prova edometrica;

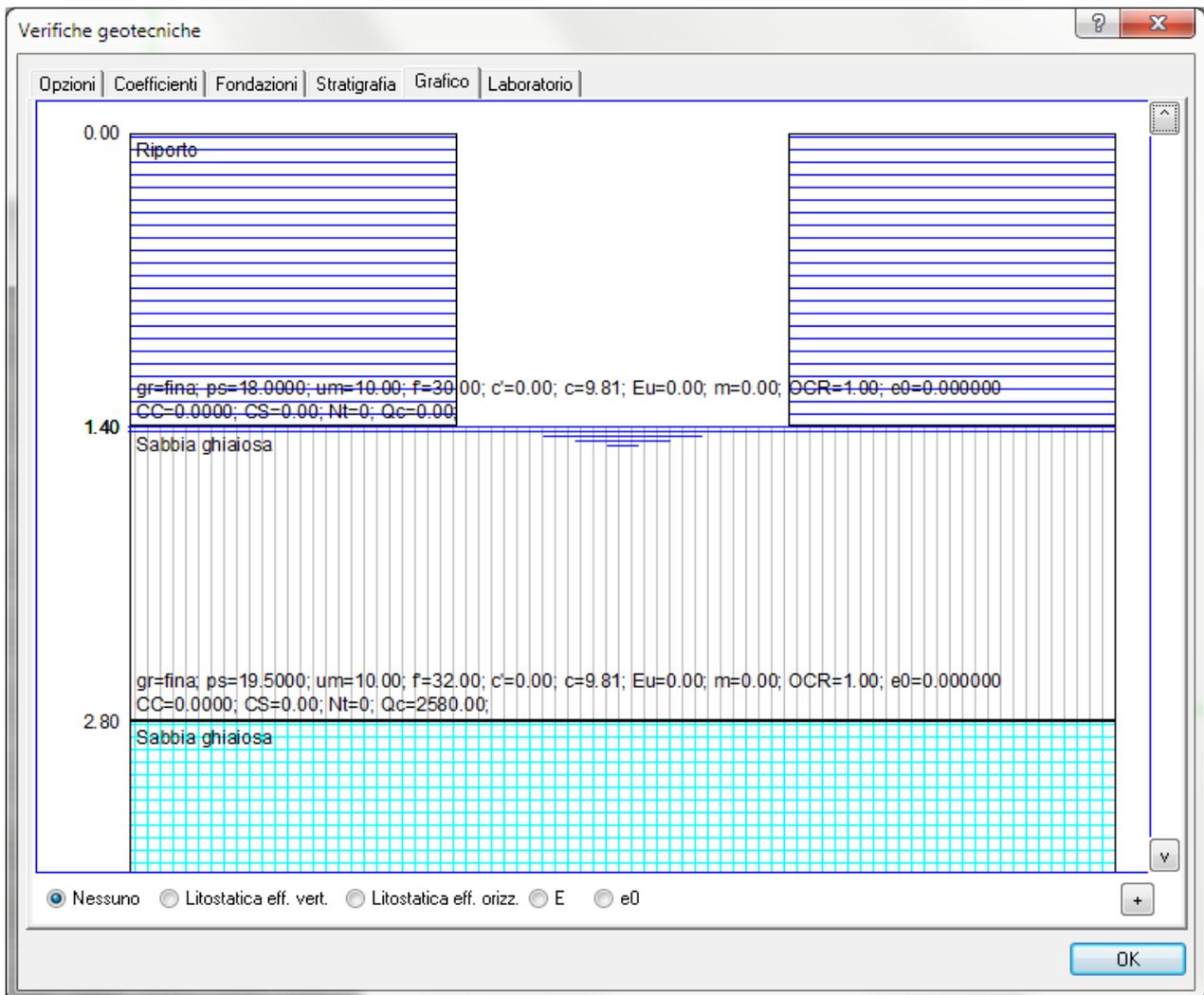
Cc:
Indice di compressibilità ricavabile dalla prova edometrica;

Nmedio:
numero di colpi ottenuto dalla prova penetrometrica dinamica,(S.P.T.). E' il valore che si utilizza nel metodo di Burland-Burbidge per calcolare l'indice di compressibilità ($I_c = 1,71/\underline{N}^{1.4}$)

qc:
sforzo alla penetrazione ricavato da prove penetrometriche statiche, (C.P.T.). E' il valore che si utilizza nel metodo di Schmertmann per il calcolo di E'

Grafico

In questa pagina viene rappresentato il modello geotecnico definito precedentemente. E' possibile anche avere i diagrammi di alcuni valori geotecnici attivandone la rappresentazione tramite i bottoni in basso. Sulla destra i bottoni a freccia consentono di scrollare l'immagine. Il bottone con il simbolo + oppure – consente di avere una rappresentazione generale o particolareggiata della stratigrafia.



Laboratorio

Dal menu "Funzioni" è possibile accedere al "Laboratorio". In questa funzionalità è possibile eseguire calcoli di portanza e dei cedimenti indipendentemente dagli elementi presenti nel modello di calcolo. Si assume si tratti di una fondazione superficiale di forma rettangolare.

Le verifiche vengono effettuate con tutte le opzioni e con la stratigrafia assegnata. Vengono anche riportati dei "Fattori intermedi di calcolo" che elencano alcuni dei principali dati intermedi utilizzati nel calcolo, in modo da fornire tutte le informazioni che possono risultare utili al progettista.

Nel grafico a destra è rappresentato invece l'andamento degli incrementi di tensione indotti nel terreno dal carico esterno applicato, riferiti alla verticale passante per il punto centrale della fondazione.

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) Procedura

Lunghezza Risultato

Carico

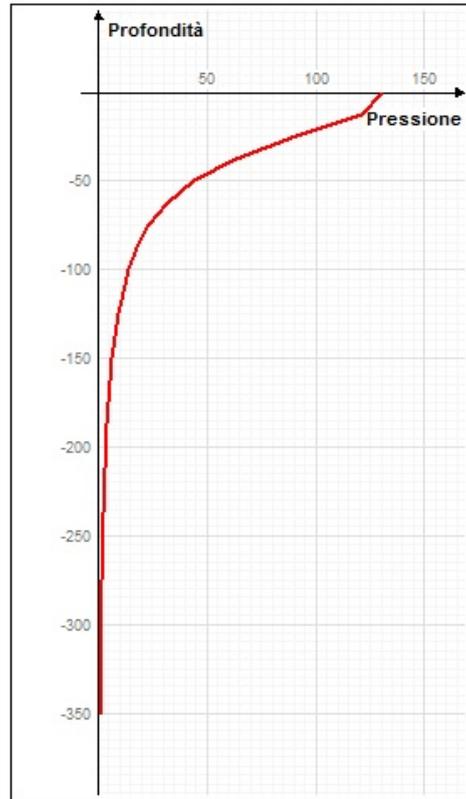
Fattori intermedi di calcolo

Prs netta=130.000000,
Press. lit. piano di posa=0.000000,
Intervallo di calcolo=12.500000,

Quota inf. int.=12.500000,
P media da carico=125.441226,
Eu=5000.000000,
Poisson=0.370299,
Prs media=125.441226,
Cedimento intervallo=0.270601,

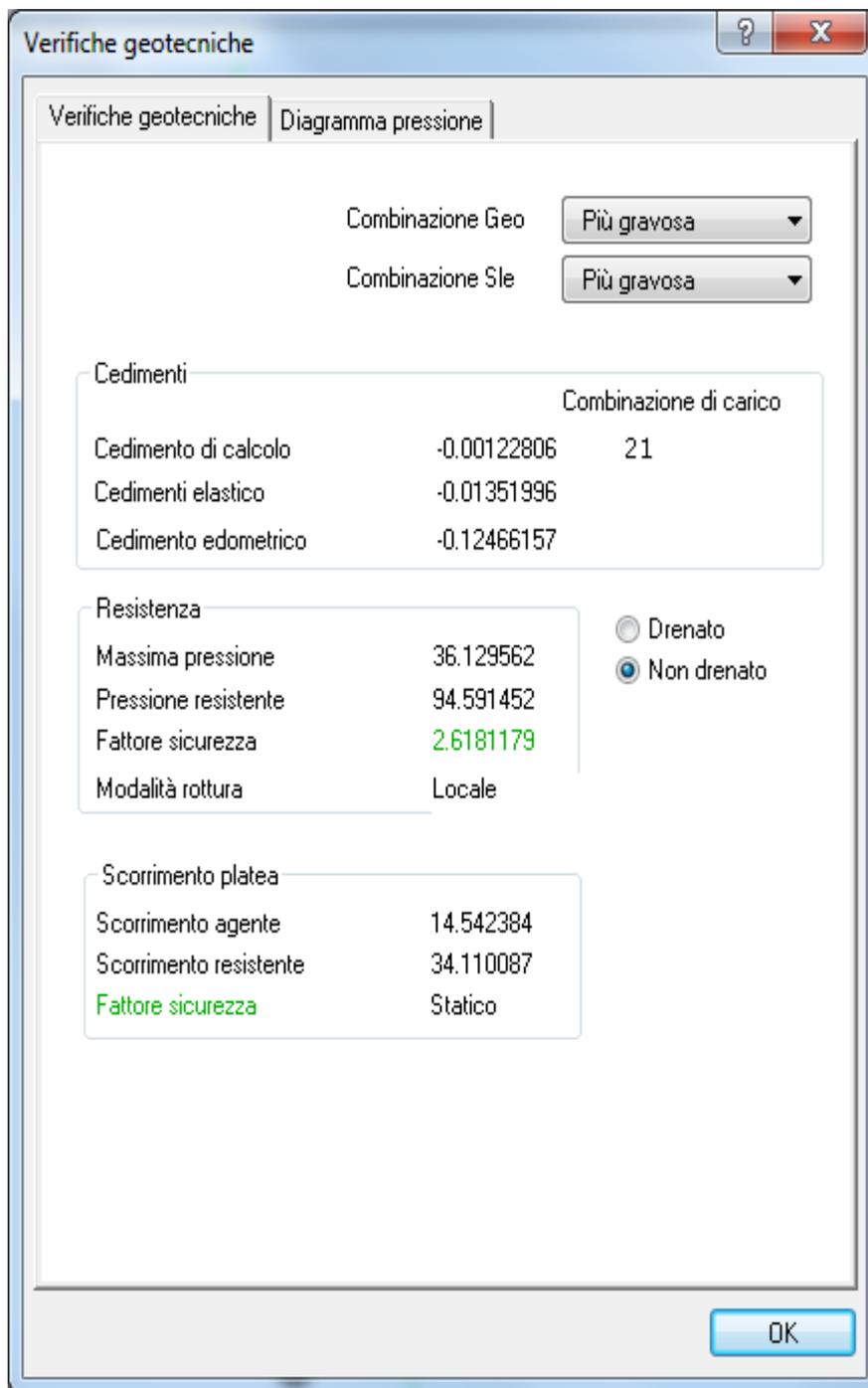
Quota inf. int.=25.000000,
P media da carico=105.998811,
Eu=5000.000000,
Poisson=0.370299,
Prs media=105.998811,
Cedimento intervallo=0.228660,

Quota inf. int.=37.500000,
P media da carico=77.028319,
Eu=5000.000000,
Poisson=0.370299,
Prs media=77.028319,



OK

Risultati delle verifiche



The screenshot shows a software dialog box titled "Verifiche geotecniche" with a "Diagramma pressione" tab. It contains several sections of data:

- Combinazione Geo:** Più gravosa
- Combinazione Sle:** Più gravosa
- Cedimenti:**

		Combinazione di carico
Cedimento di calcolo	-0.00122806	21
Cedimenti elastico	-0.01351996	
Cedimento edometrico	-0.12466157	
- Resistenza:**

Massima pressione	36.129562
Pressione resistente	94.591452
Fattore sicurezza	2.6181179
Modalità rottura	Locale

Radio buttons: Drenato, Non drenato
- Scorrimento platea:**

Scorrimento agente	14.542384
Scorrimento resistente	34.110087
Fattore sicurezza	Statico

An "OK" button is located at the bottom right of the dialog.

I risultati delle verifiche degli elementi di fondazione si possono ottenere sia numericamente che graficamente. I risultati numerici vengono esposti in un dialogo che si apre dopo aver selezionato la funzione dalla palette



e quindi l'elemento voluto. Si ricorda che nel caso dei plinti e dei pali si deve selezionare l'elemento di riferimento e non il simbolo grafico dell'elemento di fondazione.

Il dialogo è molto simile per la verifica di tutte le tipologia di fondazione per agevolarne l'uso.

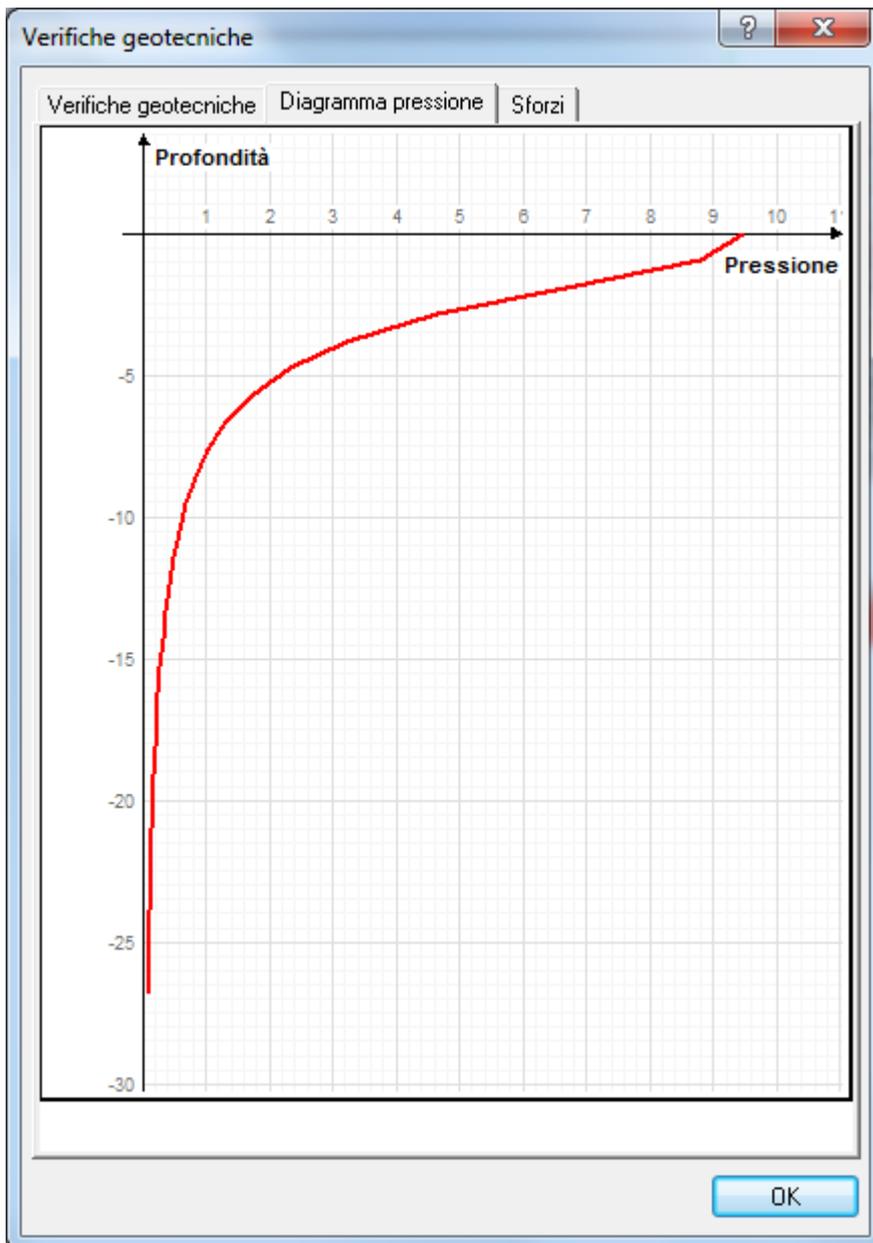
Elementi comuni al dialogo di verifica

Esponiamo gli elementi comuni di tutti i dialoghi di verifica.

Combinazioni di carico

Come è noto vi sono due gruppi di combinazioni che vanno impiegate nella verifica delle fondazioni: Combinazioni geotecniche (per la resistenza) e combinazioni SLE per i cedimenti. E' possibile quindi esaminare i risultati per la combinazione di carico voluta. Le combinazioni si selezionano da due menu che recano il numero della combinazione. Per vedere il riferimento alla combinazione, si può andare sul menu Carichi e vedere la combinazione come viene composta. Qualora si desideri esaminare subito la situazione più gravosa, si può selezionare dai menu delle combinazioni la voce "Più gravosa": verranno eseguite le verifiche per tutte la combinazioni e verranno esposti i risultati per la combinazione per la quale si è verificato la maggior pressione sul terreno. **ATTENZIONE.** Se si desidera la combinazione con il minor coefficiente c sicurezza, si devono controllare tutte le combinazioni presenti,

Per tutti i tipi di elementi è presente la pagina che consente di visualizzare il diagramma degli incrementi di pressioni sotto la fondazione, riferito alla combinazione SLE impostata nella pagina "Verifiche geotecniche", e riferito al punto centrale della fondazione.



Condizione drenata o non drenata

Le verifiche di resistenza (portanza, scorrimento, punzonamento) possono essere eseguite in condizione drenata o non drenata, Per ottenere i risultati secondo tale condizione, si deve selezionare la condizione voluta dai "radio-button" relativi.

Fattore di sicurezza

Le verifiche vengono espone in una modalità generale riportando l'azione e la resistenza ultima relative, in modo che il quoziente delle due fornisca il coefficiente di sicurezza. Nel caso di alcune verifiche, vengono espone sommati valori intermedi. Lo scopo di questi dialoghi è però quello di dare più sinteticamente possibile le risposte immediate ed essenziali in quanto si assume che il progettista chieda ad un programma questo tipo di risposte e non una quantità ridondante di dati intermedi di nessuna utilità pratica.

Il taglio o la pressione sul terreno vengono desunti dal modello di calcolo. Nel caso di elementi su letto di molle, dai cedimenti assunti da queste, nel caso di elementi rigidamente vincolati, dalle azioni degli elementi finiti che su di essi insistono.

Cedimenti

Vengono, ove pertinente, calcolati i cedimenti sia elastico che edometrico impiegando le combinazioni SLE. Entrambi i dati vengono esposti a dialogo contemporaneamente per evitare inutili operazioni al progettista che in questo modo con un solo colpo d'occhio può esaminare tutti i dati salienti della verifica.

Nel caso degli elementi su letto di molle (travi su suolo elastico, piastre su suolo elastico) viene anche riportato questo cedimento detto appunto "cedimento di calcolo".

N.B. Per i terreni a grana grossa il cedimento elastico non viene calcolato e i relativi campi del dialogo risultano ingrigiti.

Scorrimento

La resistenza a scorrimento viene calcolata come previsto da NTC08.

Poiché gli elementi finiti di fondazione non hanno rigidità per lo scorrimento (devono essere vincolati) non è disponibile la reazione orizzontale del suolo. Per il calcolo quindi della forza orizzontale agente, si considerano gli sforzi degli elementi in elevazione concorrenti negli elementi di fondazione.

Pertanto questa verifica ha i seguenti limiti:

- Non vengono considerate forze (concentrate) assegnate ai nodi degli elementi di fondazione
- Non vengono considerati carichi distribuiti assegnati agli elementi di fondazione
- Gli elementi monodimensionali connessi agli elementi di fondazione devono essere subverticali (pilastri) altrimenti non vengono considerati.

Qualora si verifici uno dei casi elencati, nel dialogo di verifica non vengono riportati i risultati di verifica, i campi relativi vengono rappresentati in grigio e viene dato, in una riga del dialogo, avviso dell'occorrenza di tale circostanza.

Metodi adottati

Per le verifiche vengono impiegati i metodi e i dati assegnati nella stratigrafia o nelle opzioni di verifica generali. Si veda il capitolo sulla [parte teorica](#) per i dettagli dei metodi impiegati.

Elementi specifici nel dialogo di verifica

Plinto

Viene riportata la percentuale di area ridotta dovuta alla eventuale eccentricità della forza. Vedere la sezione teorica per il metodo adottato.

Se il plinto è soggetto a momenti elevati che non possono essere equilibrati, e che quindi ne causano il ribaltamento il programma ne dà avviso segnalando nel campo del fattore di sicurezza: Equilibrio impossibile.

Verifiche geotecniche

Verifiche geotecniche | Diagramma pressione | Sforzi

Combinazione Geo Più gravosa

Combinazione SLE Più gravosa

Area efficace % 1.0000000

Cedimenti

		Combinazione di carico
Cedimento elastico	-0.78338564	2
Cedimento edometrico	-0.02028902	2

Resistenza

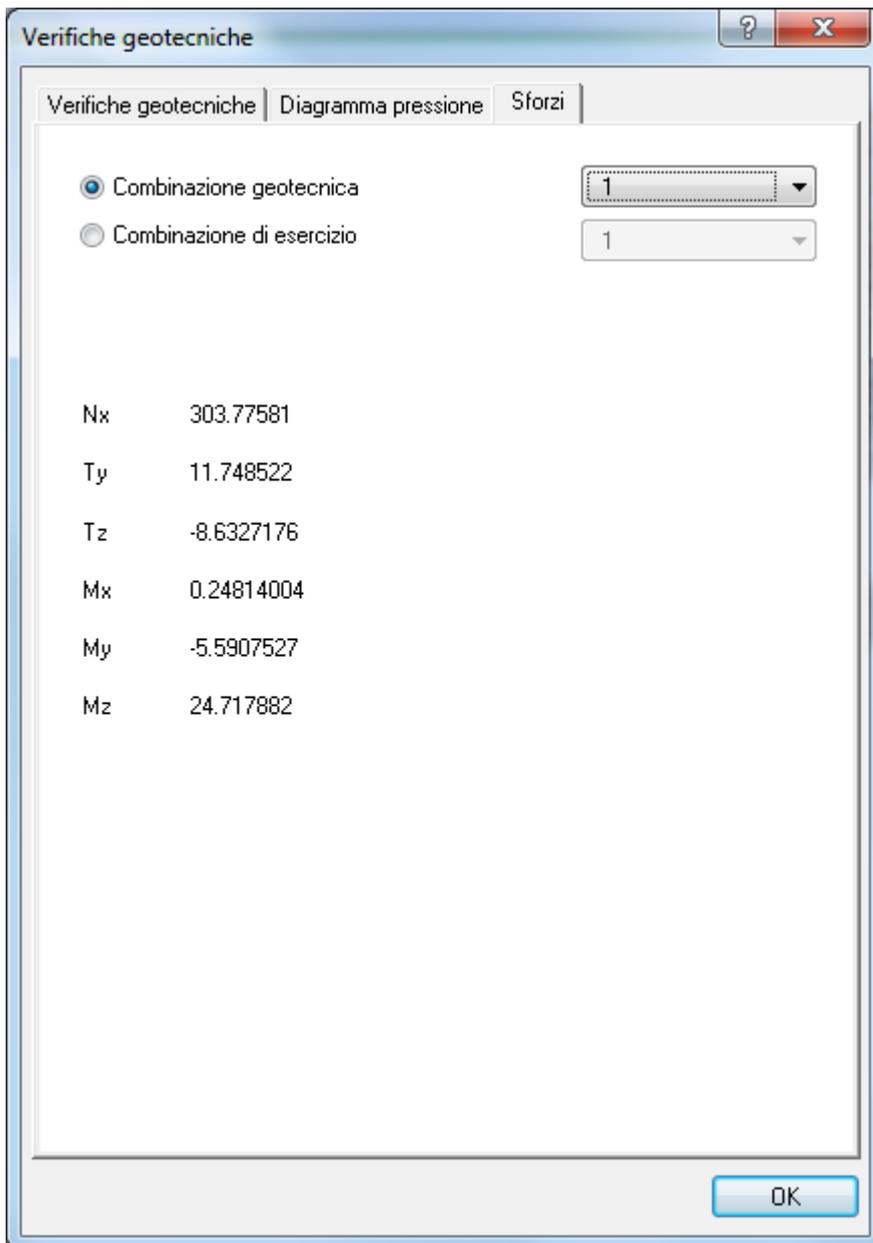
Massima pressione	1.37e+007	<input checked="" type="radio"/> Drenato
Pressione resistente	-1.#IND000	<input type="radio"/> Non drenato
Fattore sicurezza	Equil.Imposs.	
Modalità rottura	Globale	

Scorrimento

Scorrimento agente	1.30e+008
Scorrimento resistente	43255.410
Fattore sicurezza	0.00033272

OK

Per i plinti, le travi e per i pali vi è anche una terza pagina in cui vengono riepilogati i 6 valori delle caratteristiche di sollecitazione per le varie combinazioni sia geotecniche che di esercizio.



Trave

Viene riportata l'ascissa ove è stato rilevata la situazione più gravosa.

Verifiche geotecniche

Verifiche geotecniche | Diagramma pressione | Sforzi

Combinazione Geo Più gravosa

Combinazione SLE Più gravosa

Ascissa valore massimo 437.50000

Cedimenti

Cedimenti		Combinazione di carico
Cedimento di calcolo	-0.10474878	2
Cedimento elastico	-0.01567988	2
Cedimento edometrico	-2.7688597	2

Resistenza

Massima pressione	0.31424635	<input checked="" type="radio"/> Drenato
Pressione resistente	3.3122538	<input type="radio"/> Non drenato
Fattore sicurezza	>10.0	
Modalità rottura	Globale	

Scorrimento

Scorrimento agente	86.827877
Scorrimento resistente	3905.4507
Fattore sicurezza	>10.0

OK

Platee

Il dialogo si riferisce al singolo elemento finito selezionato e non all'insieme tutto. I risultati non sono una media e pertanto consentono di valutare il comportamento della platea punto per punto. Pertanto non viene riportato il fattore di scorrimento che non può attenersi al singolo elemento. Lo scorrimento si verifica con le verifiche globali. Anche qui si invita ad esaminare la [sezione teorica](#) per i dettagli di applicazione dei metodi locali e globali sulla platea di fondazione.

Pali

Per tali elementi di calcolo è riportata la resistenza assiale e la resistenza laterale. Della resistenza assiale totale, vengono riportate le componenti di resistenza laterale ed alla punta e viene riportato il coefficiente N_q di Berezantzev impiegato per il calcolo della resistenza alla punta.

Verifiche geotecniche ? ✕

Verifiche geotecniche | Sforzi

Combinazione Geo Più gravosa ▼

Combinazione SLE Più gravosa ▼

Cedimenti

		Combinazione di carico
Cedimento elastico	0.10428398	11

Resistenza

Carico assiale	68205.022	<input checked="" type="radio"/> Drenato <input type="radio"/> Non drenato
Portanza laterale	1218.6600	
Portanza di punta	27041.717	
Coefficiente Nq	55.451360	
Portanza totale	28260.377	
Fattore sicurezza	0.41434452	

Resistenza laterale

Forza di taglio	0.00000000
Resistenza laterale	31478.201
Fattore sicurezza	>10.0

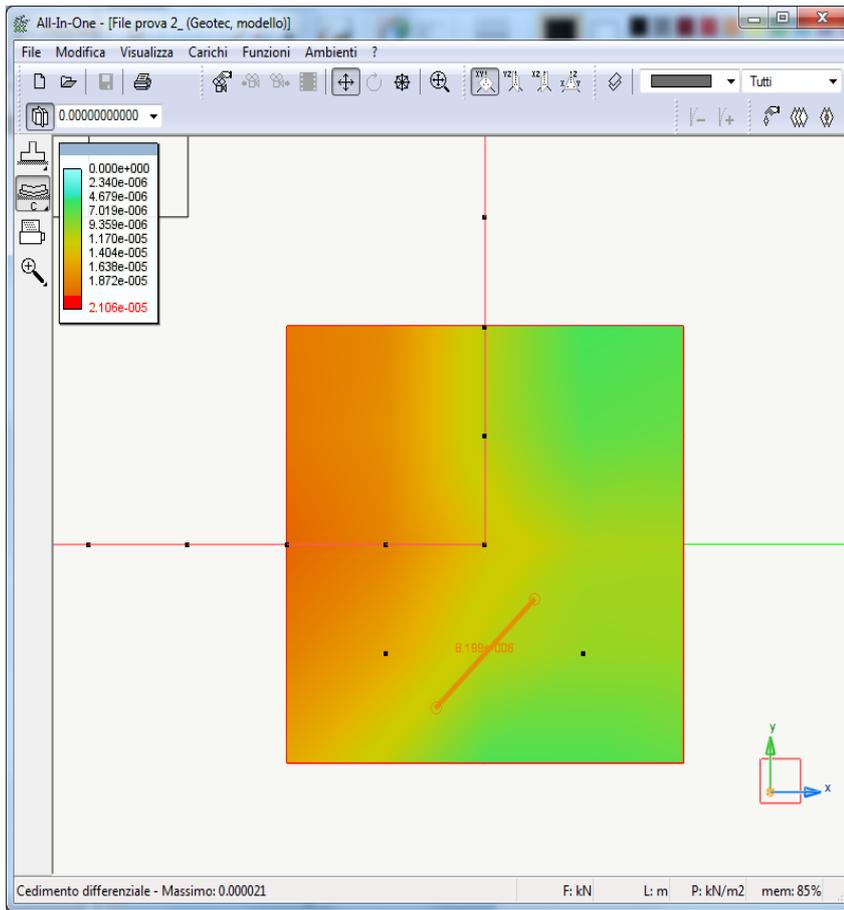
OK

Verifiche globali

Queste funzioni vengono attivate dal menu Funzioni e richiedono che vengano comunque selezionati gli elementi ai quali la verifica globale si intende venga applicata.

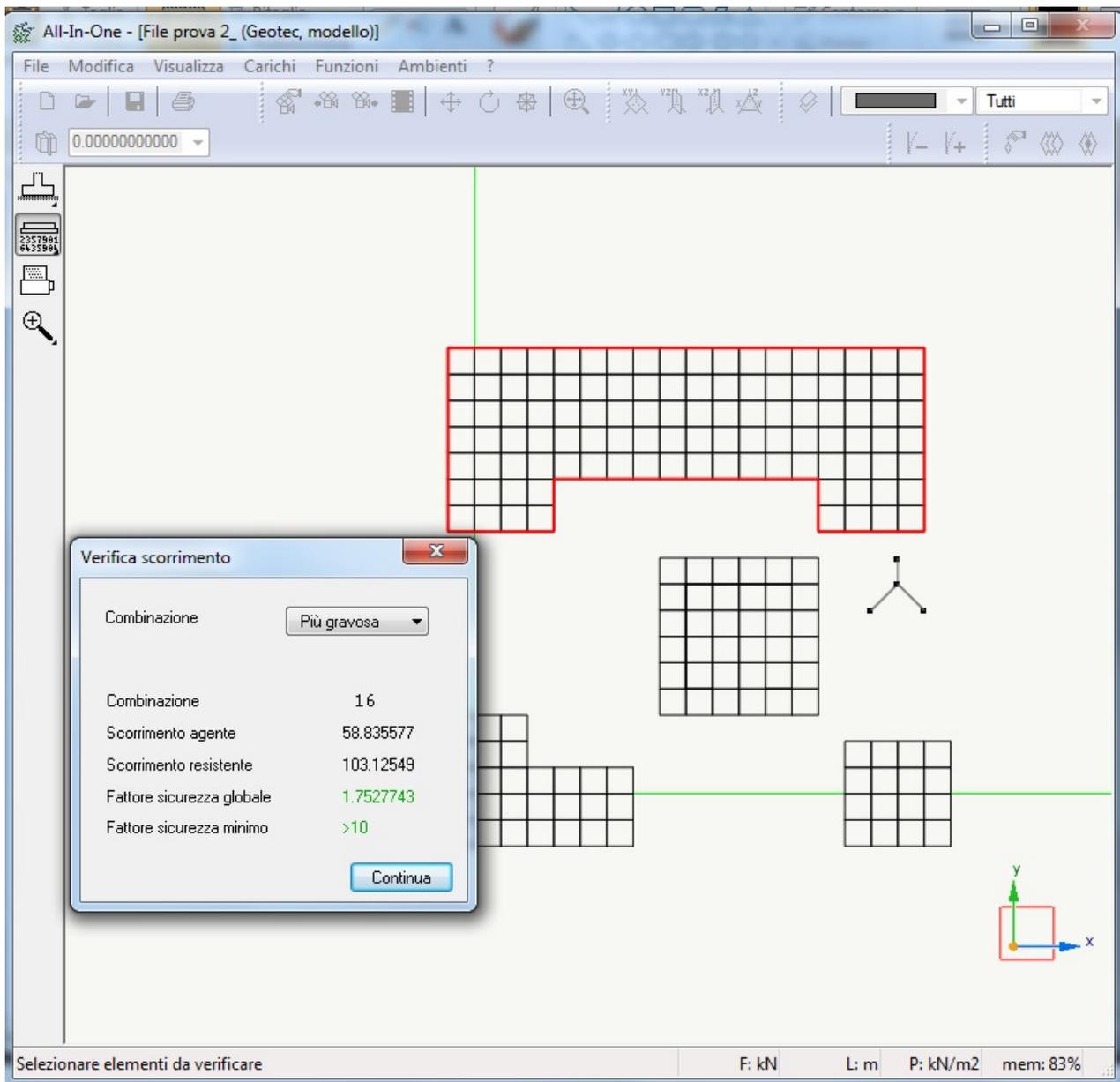
Cedimenti differenziali

Si tratta di una rappresentazione globale ove viene rappresentato il massimo rapporto tra cedimento e distanza riscontrata negli oggetti selezionati. Nel caso della platea, è possibile selezionare un solo elemento alla volta e in tal caso il risultato è relativo ai punti della platea stessa



Scorrimento

Si tratta di una verifica numerica ove viene riportato a dialogo il risultato di una verifica globale a scorrimento la quale include tutti gli elementi selezionati.



Rappresentazione dei risultati

Attivando le icone della palette del secondo gruppo, è possibile selezionare una modalità di rappresentazione grafica dei risultati. Le opzioni di rappresentazione si possono assegnare sia accedendovi dal menu Funzioni, che tramite un doppio clic sulle icone della palette. Saranno rappresentati gli elementi selezionati.



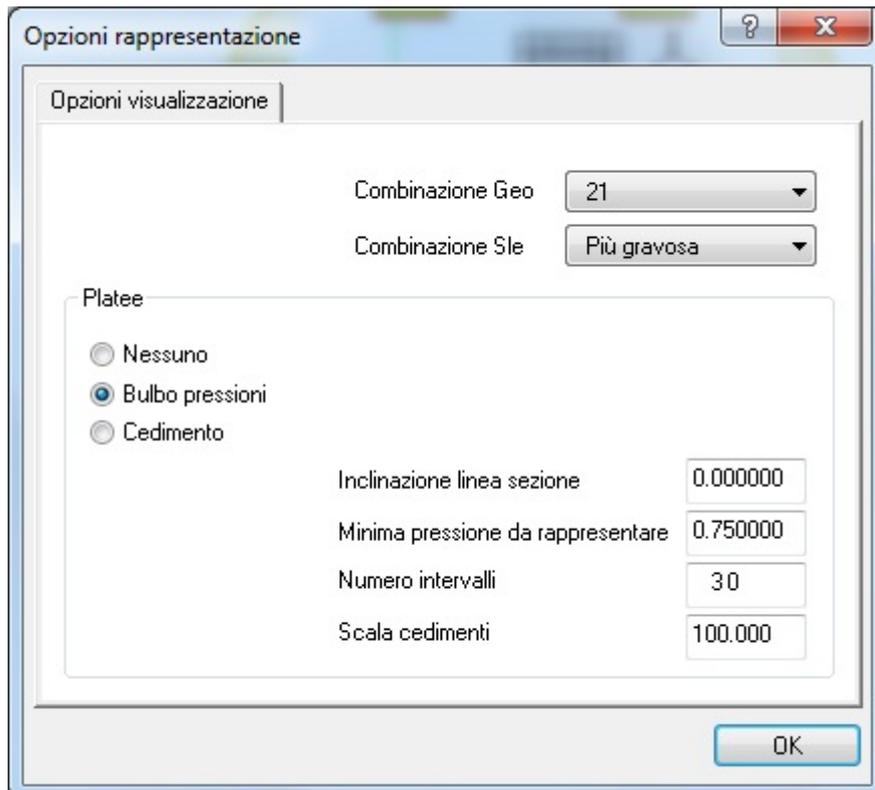
Le rappresentazioni disponibili sono le seguenti.

- Deflessione di calcolo (disponibile solo per elementi finiti dotati di interazione con il terreno)
- Cedimento elastico
- Cedimento edometrico

- Pressione sul terreno
- Coefficiente di sfruttamento per la resistenza

Attenzione Il cedimento, così come la deflessione, sono riferiti alla sola pressione esercitata dalla trave, non tengono conto dell'effetto della torsione della trave come viene invece riportato nel dialogo delle verifiche.

La combinazione di carico per la quale viene eseguita la rappresentazione è selezionabile nel dialogo delle opzioni di rappresentazione al quale si accede dal Menu Funzioni oppure tramite un doppio clic sulle icone della palette. I criteri di selezione delle combinazioni sono quelli già esposti per i risultati numerici delle verifiche.



Rappresentazioni specifiche per le platee

Per le platee, attivando i comandi di rappresentazione, oltre alla mappatura del parametro da rappresentare, si può scegliere di rappresentare anche le isobare del bulbo delle pressioni, o alternatively un diagramma che mostra l'andamento dei cedimenti sotto la platea. La rappresentazione può essere modificata operando sui seguenti parametri.

Per il bulbo di pressioni:

Inclinazione della linea di sezione: ossia angolo di inclinazione con l'asse globale X, del piano verticale rispetto al quale si vuole ottenere rappresentato il diagramma scelto.

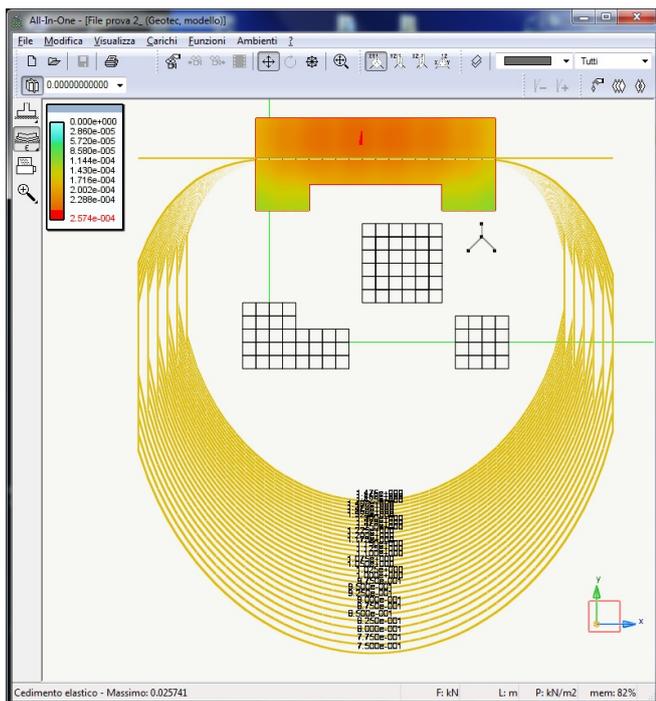
Minima a massima pressione da rappresentare e numero di intervalli da rappresentare.

Per i cedimenti

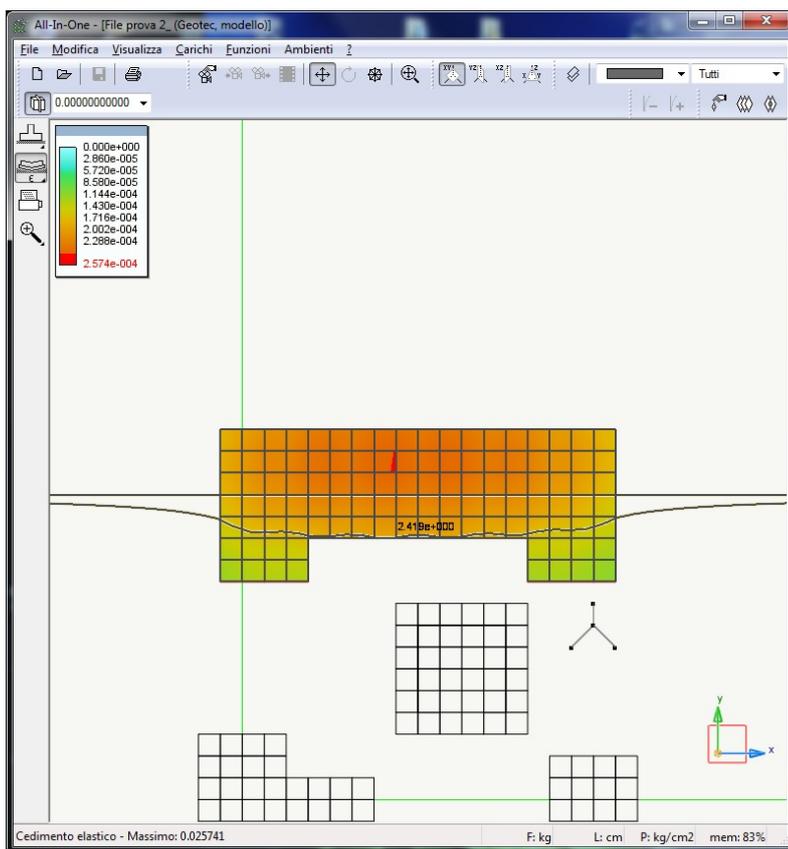
Scala cedimenti:

scala di rappresentazione del diagramma dei cedimenti.

Le rappresentazioni aggiuntive vengono attivate agendo sui relativi radio-button del dialogo.



Rappresentazione del bulbo delle pressioni



Rappresentazione del cedimento

I diagrammi vengono rappresentati, per una migliore chiarezza, ribaltandoli sul piano globale XY, e la rappresentazione al di fuori dell'impronta della fondazione comprende un tratto ai lati della platea pari alla metà della lunghezza del lato sezionato

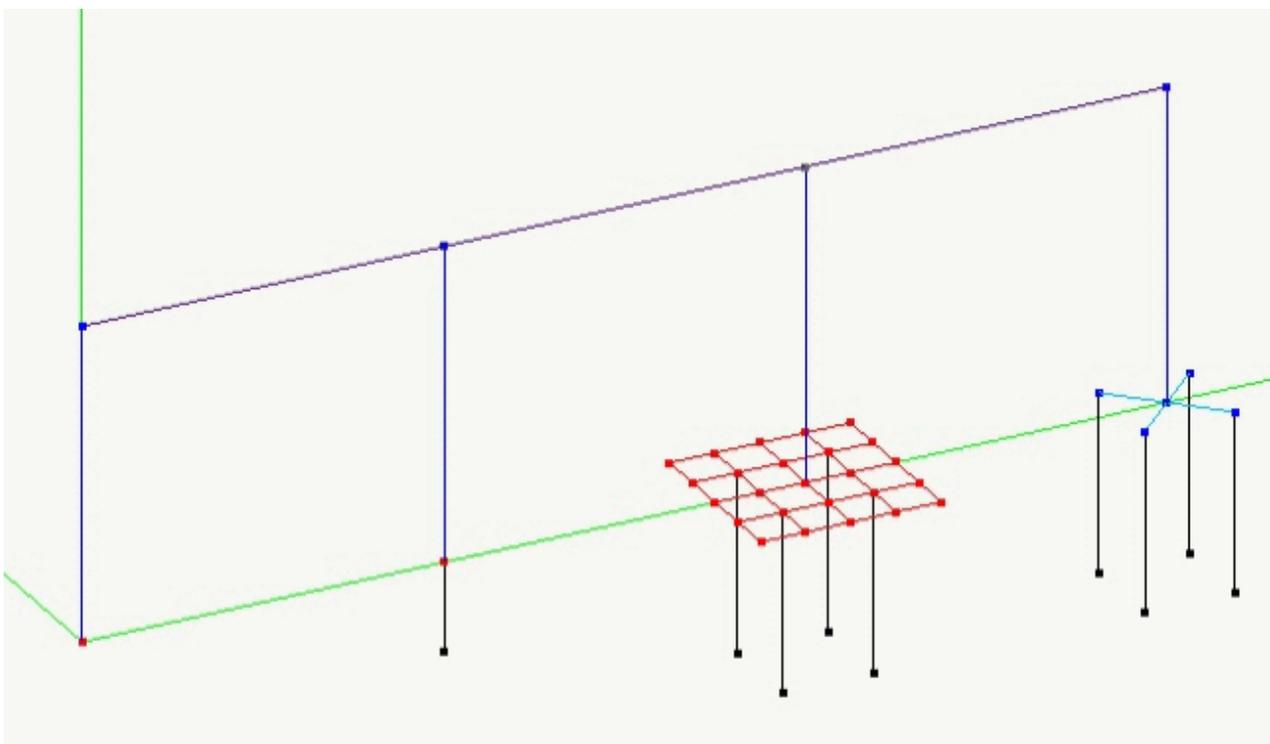
Modellazione

In questa sezione saranno esposti alcuni consigli di modellazione degli elementi di fondazione in Nòlian.

- [Plinti](#)
- [Travi Winkler](#)
- [Platee e Piastre di fondazione](#)
- [Pali di fondazione](#)

Plinti

Nel modello di calcolo i plinti di fondazione possono essere modellati nei seguenti modi.



L'immagine precedente mostra i 4 modi di modellazione dei plinti, partendo da sinistra si ha:

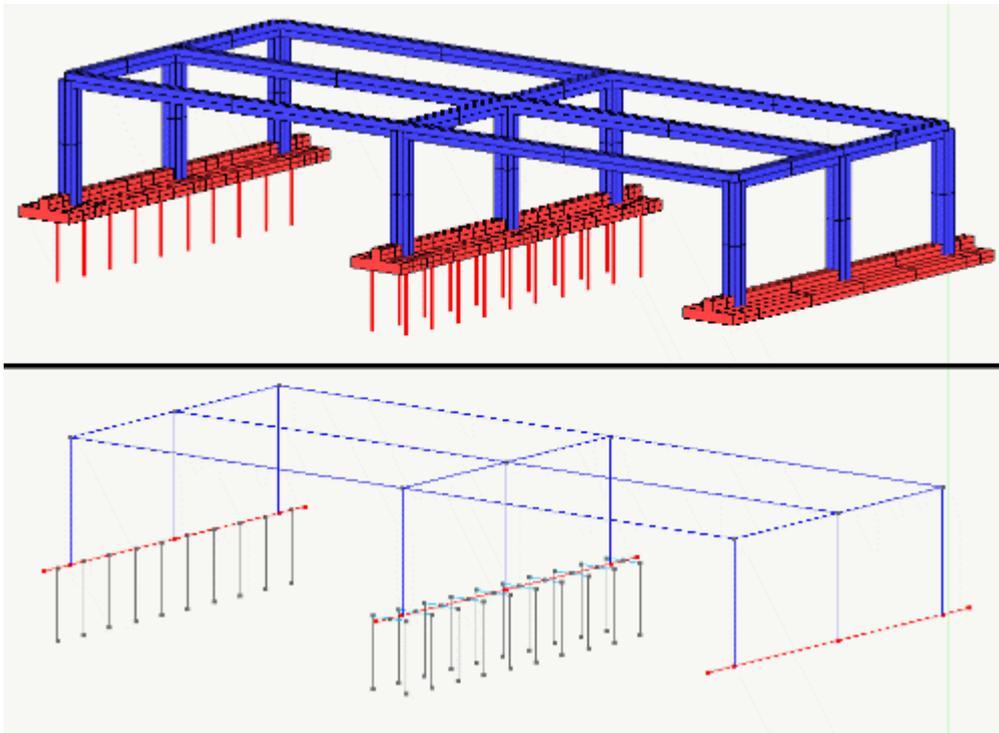
- Nodo semplice al piede del pilastro a cui è assegnato un vincolo esterno;
- Nodo semplice a cui viene assegnato un boundary con rigidezza opportuna in funzione del K Winkler;
- Modellazione plinto su pali in cui il plinto è considerato come una piastra;
- Modellazione plinto su pali in cui il plinto è considerato sempre elemento puntiforme (in tal caso la connessione tra il piede del pilastro e la testa dei Boundary che simulano il palo di fondazione è realizzata tramite elementi trave che hanno il solo scopo di trasferire rigidamente le azioni, ed alle quali deve essere pertanto assegnata una rigidezza elevata (non possono essere impiegati i Rigel in quanto non supportati dagli elementi Boundary).

Successivamente, passando all'ambiente Nuans si dovranno assegnare ai pilastri i plinti di fondazione come

precedentemente indicato (vedi)

Travi Winkler

Nel modello di calcolo le travi di fondazione possono essere modellati nei seguenti modi.

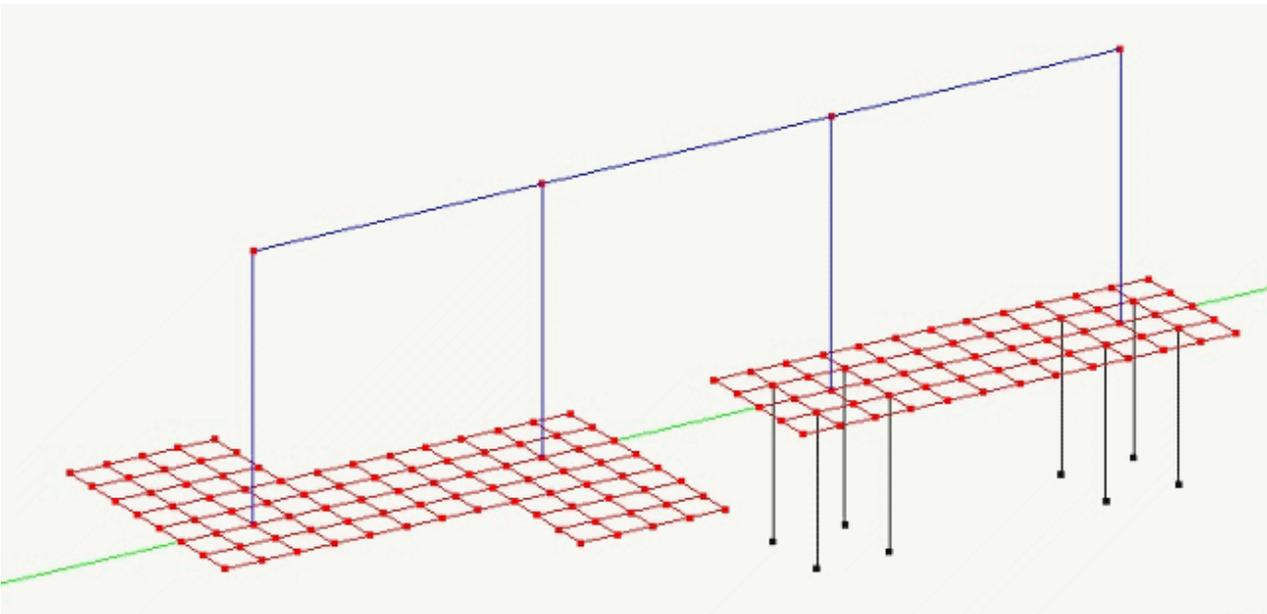


Nel caso di travi di fondazione poggiate direttamente sul terreno (elementi del primo telaio a destra in figura), queste vengono modellate come travi Winkler, e sono automaticamente riconosciute come elementi di fondazione nell'ambiente Nuans. Si possono avere anche travi poggianti su singoli pali di fondazione (elementi del primo telaio a sinistra in figura). In questo caso ovviamente occorre un nodo in corrispondenza del palo che sarà opportuno modellare con un elemento Boundary. Se invece si desidera una trave poggiata su una coppia di pali (elementi del telaio centrale in figura), come descritto precedentemente per i plinti, vengono inseriti degli elementi trave che hanno il solo scopo di trasferire rigidamente le azioni ed alle quali deve essere pertanto assegnata una rigidità infinita.

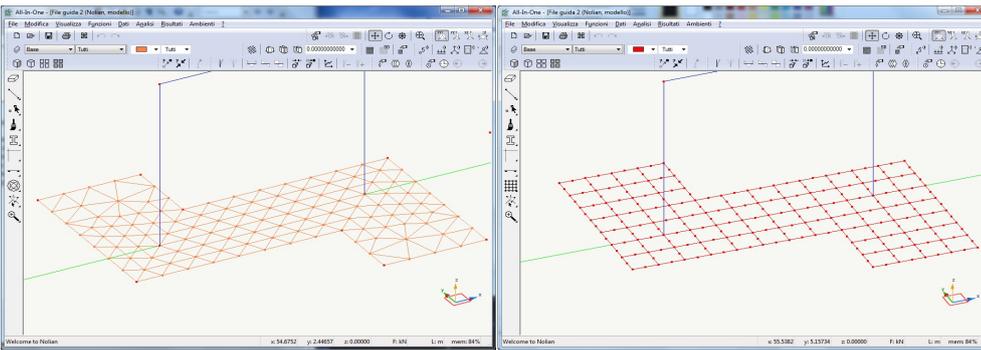
Le travi poggianti su pali possono essere sia modellate come travi Winkler, che come travi in elevazione poggiate sui pali, la scelta tra uno o l'altro comportamento è una scelta operata dall'utente in funzione del tipo di terreno e del tipo di comportamento che si considera più corrispondente alla realtà.

Platee e Piastre di fondazione

Nel modello di calcolo le platee e le piastre di fondazione vengono modellate con elementi. Anche qui, come per le travi di fondazione, si possono impiegare elementi Winkler se si assume che vi sia una interazione con il terreno oppure elementi guscio se si tratta di un plinto o una platea su pali sollevata dal terreno.



Un elemento Piastra Winkler viene automaticamente raggruppato e riconosciuto come elemento di fondazione dall'ambiente Nuans qualunque sia la forma perimetrale della piastra e qualunque sia il tipo di elemento bidimensionale utilizzato (Gusci 3, 4 o 8 nodi).



Pali di fondazione

Per il calcolo della portanza dei pali deve essere sempre assegnata una stratigrafia.

Nel calcolo della portanza laterale vengono considerati i valori associati ai singoli strati e pertanto la stratigrafia deve avere uno spessore tale da considerare tutti gli strati voluti.

Per il calcolo della portanza alla punta, il programma prende il valore dell'angolo di attrito assegnato nella stratigrafia per lo strato corrispondente alla base del palo o, nel caso che lo spessore totale della stratigrafia inserita sia minore della lunghezza del palo, viene automaticamente assunto l'angolo assegnato allo strato più profondo.

La "Profondità del piano di posa", che viene assegnata nella pagina "Fondazioni" del dialogo "Verifiche geotecniche" determina il punto da dove parte il palo.

Ad esempio, assegnando: Profondità del piano di posa = 2.0 m, Lunghezza palo = 10.0 m, Spessore totale stratigrafia = 8.0 m, risulterà come se il palo fosse inserito in una stratigrafia avente spessore pari a $8 - 2 = 6.0$ m, anche se la sua lunghezza totale è 10.0 m.

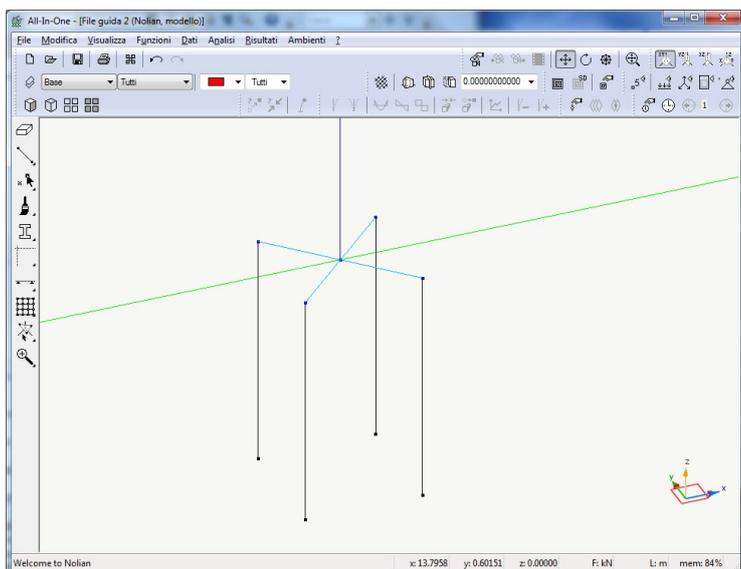
Nel caso in cui un palo abbia una lunghezza tale da avere la base coincidente con l'interfaccia tra due strati diversi, per la corretta assunzione dei parametri geotecnici da adottare per il calcolo della portanza alla punta, dato che tra due livelli coincidenti si genera una incertezza di attribuzione, si deve spostare l'interfaccia tra i due strati di pochi centimetri (la tolleranza adottata è 1 cm) sopra la base del palo, in modo che per la portanza alla punta siano adottati i parametri dello strato sotto il palo.

Ad esempio, se un palo ha lunghezza 10.0 m, ed immerso in uno strato spesso 10.0 m, per far assumere per il calcolo della portanza alla punta, i dati dello strato inferiore, lo strato in cui è immerso il palo dovrà avere uno spessore, ad esempio, di 9.95 m.

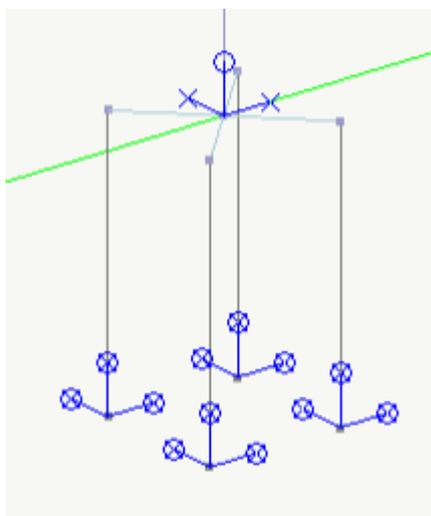
Nel modello di calcolo i pali di fondazione possono essere modellati tramite elementi Boundary, (se si vuole tenere conto della loro deformabilità anche durante l'analisi), diversamente possono essere modellati come vincoli esterni, e successivamente vengono assegnati agli elementi strutturali verticali (pilastri) che poggiano sui pali.

Nell'ambiente Nuans è comunque necessario assegnare il palo di fondazione all'elemento boundary o al pilastro corrispondente.

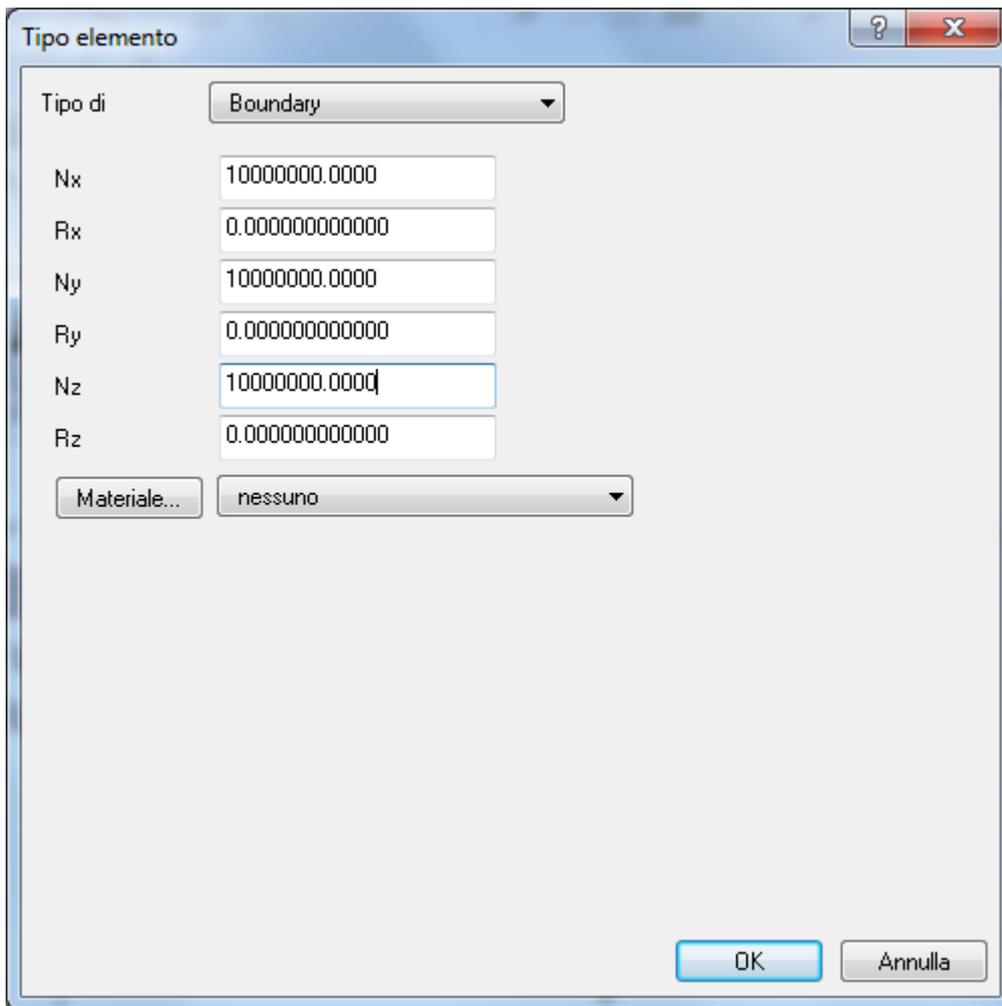
Nel caso si abbiano pilastri su più pali, poiché in Nuans si può assegnare un solo palo per pilastro, è opportuno operare con elementi di connessione infinitamente rigidi, o con elementi guscio, in modo da riprodurre la disposizione geometrica effettiva dei pali.



Se si procede alla modellazione dei pali tramite elementi Boundary, deve essere inserito un vincolo di incastro al piede del Boundary.



All'elemento Boundary deve essere assegnate rigidzze (Vedere la voce nel manuale di Nòlian) in funzione di quali tipi di azione si vuole andare a considerare in sede di progettazione, sul palo di fondazione. Ad esempio assegnando le proprietà in questo modo.



sul palo saranno considerate le azioni assiali e i tagli nelle due direzioni.

Cenni teorici sui metodi adottati

[Modello meccanico del terreno](#)

[Cedimento elastico](#)

[Cedimento edometrico](#)

[Portanza fondazioni superficiali](#)

[Coefficienti impiegati per il calcolo della portanza](#)

[Effetti cinematici](#)

[Punzonamento](#)

[Fondazioni superficiali su terreni a grana grossa](#)

[Bibliografia](#)

Modello meccanico del terreno

L'analisi tensionale del terreno, viene eseguita considerandolo un semispazio elastico. La variazione di tensione dovuta al carico nell'ipotesi di semispazio elastico, viene calcolata con il metodo di Boussinesq:

$$\Delta\sigma_z = \frac{3}{2} \frac{P}{PIG} \frac{z^2}{R^5}$$

$$R^2 = r^2 + z^2$$

o di Westergaard:

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{2PIGz^2} \frac{\sqrt{(1-2\nu)(2-2\nu)}}{\left[\frac{(1-2\nu)}{(2-2\nu)} + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

dove r e z è la posizione del punto desiderato in coordinate cilindriche con origine nel punto di applicazione della forza. Per la valutazione di v nel caso della espressione di Westergaard vedere più sotto. Nel caso di plinti o del Laboratorio, viene usato l'integrale su una impronta rettangolare secondo l'espressione:

$$R_1 = L^2 + z^2$$

$$R_2 = B^2 + z^2$$

$$R_3 = \sqrt{L^2 + B^2 + z^2}$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2PIG} \left(\arctan\left(\frac{LB}{zR_3}\right) + \frac{LBz}{R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \right)$$

Con questa espressione si ottiene la pressione al vertice del rettangolo di lati L e B. La pressione al centro viene calcolata come somma di quattro rettangoli di lati B/2 e L/2.

Nel caso di plinti sui quali agisca un momento, viene considerata una riduzione delle dimensioni:

$$L' = L - 2e_L$$

$$B' = B - 2e_B$$

con B ed H dimensioni del plinto ed e_b e e_h eccentricità del carico. Si noti che con tale metodo, nel caso di solo momento in assenza di carico assiale, le tensioni sono nulle.

Nel caso di trave o platea, viene eseguita una integrazione considerando i carichi agenti su una serie di areole ove si considera la distanza dal punto ove si vuole ottenere la tensione tramite le sopra riportate espressioni di Boussinesq e Westergaard.

Cedimento elastico

Il cedimento elastico è ottenuto per integrazione su intervalli in profondità tipicamente di 0.25 B dove B è il lato minore della fondazione. Ove sia assegnata una stratificazione, l'integrazione tiene conto della variazione delle caratteristiche del terreno nei diversi strati.

La profondità limite dell'integrazione è quella dove le pressioni si riducono sotto il 5% del carico. Se si supera la profondità massima assegnata con le stratigrafie, si assume che tale strato continui per profondità indefinita.

Per le platee, la larghezza minore B viene calcolata valutando gli assi principali d'inerzia della geometria della platea.

Il cedimento totale è ottenuto per integrazione delle deformazioni di intervalli in profondità come segue:

$$S = \int \Delta \sigma_z \frac{(1 - \nu^2)}{E(z)} dz$$

dove i valori di variazione di tensione sono calcolati come sopra.

Il modulo di elasticità si assume variare in ogni singolo strato con la legge lineare:

$$E = E_0 + m z$$

Dove E_0 è il valore riferito al livello del punto medio sullo spessore dello strato, assegnato nella stratigrafia, ed m è un coefficiente lineare egualmente assegnato per ogni strato.

Il coefficiente di Poisson ν non è richiesto sia assegnato, ma viene calcolato come segue:

$$k_0 = (1 - \sin(\phi))$$

Per terreni normal-consolidati

$$k_0 = (1 - \sin(\phi)) \text{OCR}^{\sin(\phi)}$$

Per terreni sovra-consolidati

$$\nu = k_0 / (1 + k_0)$$

Cedimento edometrico

Il cedimento edometrico è ottenuto sommando i cedimenti ΔH dei singoli strati di spessore H . L'incremento di pressione $\Delta \sigma'_v$, E , la pressione litostatica σ'_v , vengono calcolati, l'indice dei vuoti e_0 e l'indice di sovraconsolidamento OCR, l'indice di compressione C_c e di ricomprensione C_s vengono assegnati.

La pressione di consolidazione viene calcolata tramite: $\sigma'_c = \text{OCR} \Delta \sigma'_v$

La tensione dovuta al carico è calcolata come esposto per il cedimento elastico. Anche in questo caso, se si hanno più strati, viene considerata la variazione dei valori in ogni singolo strato.

Il valore di e_0 cambia con la profondità, esso viene calcolato alla profondità necessaria assumendo che il valore assegnato sia relativo alla quota centrale dello strato. Se il dato disponibile è a differente profondità va riportato al centro dello strato con la seguente relazione:

Per terreni normalmente consolidati:

$$e_{0i} = e_{0p} - C_c \log_{10} \sigma'_{v0i} / \sigma'_{v0p}$$

Per terreni sovra-consolidati:

$$e_{0i} = e_{0p} - C_s \log_{10} \sigma'_{v0i} / \sigma'_{v0p}$$

con i e p rispettivamente valori relativi al punto desiderato ed al punto di rilevamento.

$$\text{per } \sigma'_c = \sigma'_{v0}$$

$$\Delta H = b C_c \log_{10} a$$

per $\sigma'_c < \sigma'_{v0}$

$$\Delta H = b C_r \log_{10} a$$

per $(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma') > \sigma'_c > \sigma'_{v0}$

$$\Delta H = b \left(C_r \log_{10} \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}} + C_r \log_{10} a \right)$$

dove:

$$a = \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

$$b = \frac{H}{1 + e_0}$$

Questo metodo è applicato per tutti i tipi di fondazione superficiale. Nel caso di platee, viene applicata una riduzione del fattore N_v :

$$r_v = 1 - 0.25 \log_{10} B/2 \quad (B \text{ in metri})$$

Si ricorda che il calcolo procede fino alla profondità dell'ultimo strato assegnato. In questo caso si deve tener presente che la profondità alla quale si considera assegnato il valore di e_0 è sempre il centro dello spessore dell'ultimo strato assegnato.

Portanza fondazioni superficiali

I valori impiegati in questa valutazione per terreno a strati vengono determinati tramite una media pesata sugli strati. Questa media, per quanto riguarda la valutazione del peso specifico, tiene conto, se in condizioni drenate, della presenza della falda come esposto nel seguito.

Per la portanza si impiega la formula generale in Condizioni drenate:

$$q_{ult} = c N_{c c} s_{c c} d_{c c} i_{c c} + q N_{q q} s_{q q} d_{q q} i_{q q} + 0.5 B \gamma N_{\gamma \gamma} s_{\gamma \gamma} d_{\gamma \gamma} i_{\gamma \gamma}$$

Per il terreno in condizioni non drenate si trascura il comportamento attritivo ($\phi=0$), l'espressione assume la forma:

$$q_{ult} = 5.14 c u s'_c d'_c i'_c + q$$

dove:

q è la pressione litostatica sul piano di posa.

γ è il peso specifico del terreno sotto la fondazione

N è il fattore di portanza che tiene conto del comportamento coesivo del terreni.

N_q è il fattore di portanza che tiene conto dell'incremento alla portanza dovuto alla eventuale presenza di un rinfianco laterale di terreno, alla fondazione

N_γ è il fattore di portanza che tiene conto della resistenza dovuta al comportamento attritivo del terreno

I tre fattori N sono tre funzioni dipendenti dall'angolo di attrito del terreno.

s è il fattore di forma che tiene conto della reale impronta della fondazione

d è il fattore che tiene conto della profondità

i è il fattore che tiene conto dell'inclinazione del carico

Dettagli sul calcolo della q : pressione litostatica sul piano di posa.

Per il calcolo del carico q viene utilizzato il peso specifico naturale se la falda si trova pari o sotto al piano di fondazione, mentre se si trova sopra, per la parte di terreno sopra falda viene utilizzato sempre il peso specifico naturale, mentre per il terreno sotto falda viene impiegato il peso specifico in condizioni di completa saturazione del terreno, (entrambi assegnati dall'utente).

Dettagli sull'impiego del γ : peso specifico del terreno sotto la fondazione.

Per l'impiego del γ per i terreni che si trovano sopra la falda, viene utilizzato il peso specifico naturale, mentre per i terreni che si trovano sotto falda viene impiegato il peso specifico in condizioni di completa saturazione del terreno. Se la stratigrafia all'interno delle quote di terreno interessata dal cuneo di rottura, è composta da diversi strati, il programma esegue una media ponderata in funzione dello spessore dei vari strati.

Coefficienti impiegati per il calcolo della portanza

A seconda della teoria applicata i coefficienti sopra elencati assumono un diverso valore.

I coefficienti impiegati sono quelli delle formulazioni di:

- Hansen
- Brinch-Hansen
- Vesic
- Eurocodice 7

Nel seguito, per tutti i casi si impiegherà:

$\beta = D/B$ per $D < B$

$\beta = \arctan D/B$ per $D > B$

e, ove richiesto:

$$m = \sin^2(\theta) \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} + \cos^2(\theta) \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

con θ angolo di inclinazione della forza orizzontale sul piano.

$$k = \frac{B}{L} \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

I coefficienti proposti da **Hansen** sono i seguenti.

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) e^{(\pi \tan \phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi$$

s,d,i, in condizioni drenate:

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	1+0.4	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + B/L \tan \phi$	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi^2 \beta)$	$\{1 - [(0.5H)/(V + A_f c \cot \phi)]\}$
γ	$1 - 0.4 B/L$	1	$\{1 - [(0.7H)/(V + A_f c \cot \phi)]\}^5$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

s,d,i, in condizioni non drenate:

$$s_c = 1 + 0.2 B/L$$

$$d_c = 1 + 0.4 D/B \text{ (se } D < B)$$

e

$$d_c = 1 + 0.4 \arctan D/B \text{ (se } D > B)$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}]$$

I coefficienti proposti da **Brinch-Hansen** sono i seguenti.

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) e^{(\pi \tan \phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi$$

s,d,i, in condizioni drenate:

--	--	--	--

	s	d	i
c	1+0.2 k	$d_q - [(1-d_q)/(N_c \text{tg}(\phi))]$	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	1+0.1 k	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \phi)]\}^m$
γ	1 + 0.1 k	1	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \phi)]\}^{m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

s,d,i, in condizioni non drenate:

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L$$

$$d_c' = 1 + 0.4 D/B \text{ (se } D < B)$$

$$d_c' = 1 + 0.4 \arctan D/B \text{ (se } D > B)$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}]$$

I coefficienti proposti da **Vesic** sono i seguenti.

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) e^{(\pi \tan \phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

s,d,i, in condizioni drenate:

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	$d_q - [(1-d_q)/N_c \text{tg}(\phi)]$	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + (B/L) \text{tg}(\phi)$	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \beta$	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \phi)]\}^m$
γ	1 - 0.4 B/L	1	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \phi)]\}^{>m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

s,d,i, in condizioni non drenate:

$$s_{>c}' = 1+0.2 B/L$$

$$d_c' = 1+0.4 D/B \text{ (se } D < B)$$

$$d_c' = 1+ 0.4 \arctan D/B \text{ (se } D > B)$$

$$i_c' = 1 - [(m \times H)/(B \times L \times c_u \times V)]$$

I coefficienti proposti da **Eurocodice 7** sono i seguenti.

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) e^{(\pi \tan \phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi$$

s,d,i, in condizioni drenate:

	s	d	i
c	$s_q[(1-s_q)/(N_q-1)]$	$d_q - [(1-d_q)/N_c \operatorname{tg}(\phi)]$	$i_q - [(1-i_q)/N_q - 1]$
q	$1 + \sin(\phi) B/L$	$(1 - \theta \tan \phi)^2$	$\{1 - [H/(V + A_f c' \cot \phi)]\}^m$
γ	$1 - 0.3 B/L$	$(1 - \theta \tan \phi)^2$	$\{1 - [H/(V + A_f c' \cot \phi)]\}^{m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

θ = angolo inclinazione del carico espresso in radianti

s,d,i, in condizioni non drenate:

$$s_c' = 1+0.2 B/L$$

$$d_c' = 1 - [2 \theta / (\pi + 2)]$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c')^{0.5}]$$

Nel caso la falda idrica interessi il cuneo di fondazione, viene impiegato un peso specifico medio ottenuto come media pesata fino alla profondità h_c del cuneo:

$$h_c = B/2 \tan(45^\circ + \phi/2)$$

Effetti cinematici

Nel caso si voglia considerare l'effetto del sisma sulla portanza, si possono considerare gli effetti cinematici, costituiti dalle sollecitazioni indotte nel terreno dall'azione sismica, Le azioni inerziali che inducono un aggravio di sollecitazioni trasmesse dalla sovrastruttura al terreno tramite le fondazioni vengono già considerate nell'analisi sismica effettuata sulla struttura.

Si impiegano due metodi, selezionabili, che consentono di determinare tre coefficienti che modificano i termini dell'equazione trinomia come segue.

Il metodo di Paolucci e Pecker prevede le seguenti relazioni:

$$z_q = z_y = (1 - K_h / \tan(\phi))^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.36 K_h$$

dove

$K_h = a_{h,max}/g$ con $a_{h,max}$ accelerazione spettrale per il periodo del primo modo. Questo valore è automaticamente ricavato dall'analisi e non deve essere assegnato.

I fattori riduttivi z si applicano ai fattori di capacità portante di coesione "Nc", e di sovraccarico "Nq" e di peso del terreno "Ny". La prima formula si applica ai fattori "Nq" ed "Ny", la seconda al fattore "Nc".

Il metodo di Maugeri e Novità prevede le seguenti relazioni.

$$\begin{aligned} z_c &= 1 \\ z_q &= 1 + a_1 k_h^2 + a_2 k_h \\ z_g &= 1 + a_3 k_h \end{aligned}$$

$$a_1 = 43.29 \tan^3(\varphi) - 105.8 \tan^2(\varphi) + 81.09 \tan(\varphi) - 19.91$$

$$a_2 = -2.8 \tan^3(\varphi) + 6.66 \tan^2(\varphi) - 4.61 \tan(\varphi) + 0.35$$

$$a_3 = 7.23 \tan^3(\varphi) - 18.39 \tan^2(\varphi) + 15.22 \tan(\varphi) - 5.39$$

Punzonamento

Per determinare il modulo di resistenza a taglio si impiegano le seguenti relazioni:

$$G = E / (2 (1+\nu))$$

$$\nu = k_0 / (1+k_0)$$

$$k_0 = (1 - \sin(\phi)) \text{OCR}^{\sin(\phi)}$$

$$I_r = G / (c' + \sigma \text{tg}(\phi))$$

$$I_{r,crit} = \frac{1}{2} \exp\left(\left(3.3 - 0.45 \frac{B}{L}\right) \cotan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)\right)$$

I_r ed $I_{r,crit}$ sono rispettivamente l'indice di rigidezza e l'indice critico di rigidezza.

$$\psi_\gamma = \psi_q = \exp\left(\left(0.6 \frac{B}{L} - 4.4\right) \tan(\varphi) + \frac{3.07 \sin(\varphi) \log_{10}(2 I_r)}{1 + \sin(\varphi)}\right)$$

$$\psi_c = \psi_q - \frac{1 - \psi_q}{N_q \tan(\varphi)}$$

Per $\phi=0$:

$$\psi_\gamma = \psi_q = 1$$

$$\psi_c = 0.32 + 0.12 B/L + 0.6 \log_{10}(I_r)$$

se $I_r > I_{r,crit}$

$$\psi_\gamma = \psi_q = \psi_c = 1$$

I fattori ψ_γ , ψ_q e ψ_c vengono impiegati come moltiplicatori riduttivi dei corrispondenti fattori della formula trinomia.

Scorrimento

La tensione limite di scorrimento in condizioni drenate è data dalla relazione:

$$s_{ult} = c' + \sigma_v \tan(\phi)$$

con σ_v pressione ortogonale al piano di scorrimento.

La tensione limite di scorrimento in condizioni non drenate è data dalla relazione:

$$s_{ult} = cu$$

Fondazioni superficiali su terreni a grana grossa

Metodo di Schmertmann

Il metodo di Schmertmann per il calcolo dei cedimenti è valido per terreni a grana grossa, e si basa sui risultati di prove penetrometriche statiche. Il dato di input da inserire è il qc risultante dalla prova penetrometrica.

In tale procedura per ottenere un corretto calcolo del cedimento l'utente deve inserire correttamente i dati di input, la procedura corretta prevede la seguente modellazione geotecnica, avendo uno strato di terreno a grana grossa, si avranno dei valori di sforzo alla penetrazione, qc registrati a varie quote, (generalmente ogni 20 cm), prendendo tali valori, l'utente dovrà individuare dei sottostrati contigui per i quali il valore di qc risulta simile, in modo da poter assegnare a tale sottostrato un qc medio, pertanto uno strato di sabbia di 6,0 m di spessore, può essere suddiviso nell'assegnazione della stratigrafia in 3 sottostrati ai quali si assegna un valore di qc medio.

Il calcolo del cedimento con il Metodo di Schmertmann prevede l'applicazione della seguente relazione:

$$S = \frac{C_1 C_2}{C_3} \Delta p \sum_0^{z_2} \frac{I_z \Delta z}{q_c}$$

dove:

$$C_1 = 1 - 0.5 \frac{\sigma'_{v0}}{\Delta p}$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log_{10}(10t)$$

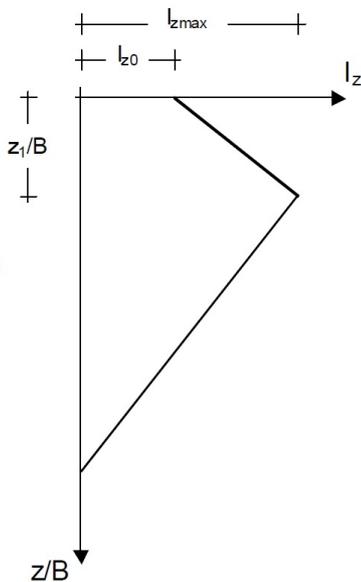
$$C_3 = 3.5 B/L$$

con:

σ'_{v0} = tensione litostatica alla quota del piano di fondazione

t = tempo in anni

Δp = pressione netta applicata dalla fondazione ovvero la pressione trasmessa dalla fondazione decurtata della pressione efficace sul piano di posa.



Il fattore di influenza I_z ha l'andamento di una spezzata come in figura (la figura è tratta da G. Vannucchi et al., *Dispense di geotecnica*), con vertice della spezzata a profondità z_1 ed ampiezza I_{max} con parametri definiti:

$$I_0 = 0.2 - 0.1 B/L$$

$$z_1 = (1 - 0.5 B/L) B$$

$$z_2 = (4 - 2 B/L) B$$

$$I_{max} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\Delta q / \sigma'_{v0}} > 0.5$$

Pertanto:

$$I_z = I_0 + (I_{max} - I_0) z / z_1 \quad (\text{per } z < z_1)$$

$$I_z = I_{max} (z_2 - z) / (z_2 - z_1) \quad (\text{per } z_1 < z < z_2)$$

Metodo di J. B. Burland e M. C. Burbidge

Specifichiamo le iniziali dei nomi in quanto spesso Burbidge è erroneamente riportato come Burbridge.

Il metodo di Burland-Burbidge per il calcolo dei cedimenti è valido per terreni a grana grossa, e si basa sui risultati di prove penetrometriche dinamiche. Il dato di input da inserire è il numero di colpi (N_{spt}) risultante dalla prova penetrometrica. In tale procedura per ottenere un corretto calcolo del cedimento l'utente deve inserire correttamente i dati di input, la procedura corretta prevede la seguente modellazione geotecnica, avendo uno strato di terreno a grana grossa, si avranno dei valori di N_{spt} registrati a varie quote, prendendo tali valori, l'utente dovrà individuare dei sottostrati contigui per i quali il

valore di N_{spt} risulta simile, in modo da poter assegnare a tale sottostrato un N_{medio} , pertanto uno strato di sabbia di 6,0 m di spessore, può essere suddiviso nell'assegnazione della stratigrafia in 3 sottostrati ai quali si assegna un valore di N_{medio} . Tale metodo prevede il calcolo del cedimento istantaneo per terreni a grana grossa attraverso la seguente relazione:

$$S = f_s f_1 q B^{0.7} I_c$$

dove:

f_s , fattore di forma

$$f_s = \left(\frac{1.25 L/B}{L/B + 0.25} \right)^2$$

f_1 , fattore di spessore

$$f_1 = \frac{H_s}{Z_1} \left(2 - \frac{H_s}{Z_1} \right)$$

H_s = spessore del sottostrato a grana grossa espresso in metri

$Z_1 = B^{0.763}$ è la profondità di influenza

se $H_s > Z_1$ si assume $f_1 = 1.0$

L'indice di compressibilità:

$$I_c = 1.71 / N^{1.4}$$

N è il valore medio corretto:

per sabbie molto fini o limose sotto falda:

$$N' = 15 + 0.5 (N_{SPT} - 15)$$

per ghiaie o sabbie ghiaiose:

$$N' = 1.25 N_{SPT}$$

Per tener conto della viscosità si applica un fattore correttivo f_t del cedimento calcolato S :

$$f_t = 1 + R_3 + R_t \log_{10} t/3$$

Dove si assume che i carichi agiscano staticamente per cui $R_3 = 0.3$ e $R_t = 0.2$

Fondazioni profonde

Portanza

La portanza per aderenza o attrito laterale è data da:

$$Q_s = \pi D \int \tau_s dz$$

Dove τ viene calcolato con due metodi:

$$\tau_s = \alpha c_u$$

dove α deve essere assegnato, oppure

$$\tau_s = K \sigma_{v0}' \text{ con } K \text{ coefficiente di spinta laterale che può essere posto pari a:}$$

$$k_0 = 1 - \sin(\phi); \text{ Per terreni normal-consolidati}$$

$$k_0 = (1 - \sin(\phi)) \text{OCR}^{\sin(\phi)}; \text{ Per terreni sovra-consolidati}$$

Oppure per pali trivellati:

$$k_a = (1 - \sin(\phi)) / (1 + \sin(\phi))$$

Oppure per pali infissi:

$$k_p = (1 + \sin(\phi)) / (1 - \sin(\phi))$$

Oppure K può essere assegnato dall'utente.

La portanza alla base del palo è data come segue.

In terreno coesivo ($c_u > 0.0$)

$$Q_p = A_p (c_u N_c + \sigma_{v0,P})$$

dove si assume $N_c = 9$.

In terreno non coesivo:

$$Q_p = A_p N_q \sigma_{v0,P}$$

dove N_q è il coefficiente di Berezantzev ottenuto in funzione di un ϕ' ridotto.

Il valore di ϕ' ridotto può essere assegnato, valido però per tutti gli strati, oppure, ponendo tale valore a zero, viene considerato il valore assegnato ad ogni strato.

I coefficienti di Berezantzev non sono espressi in forma chiusa e pertanto sono derivati interpolando una tabella di coefficienti forniti dall'autore.

Resistenza laterale

Viene impiegato il metodo di Broms con la modifica, per i terreni a grana grossa, di Brich-Hansen. Cioè, per i terreni a grana

fine: $p_u = 9.0 c_u D$, per i terreni a grana grossa: $p_u = K_p^2 \sigma_v' D$

Cedimento

Il cedimento elastico è ottenuto tramite la formulazione rigorosa (nei limiti dell'ipotesi di semispazio elastico) dovuta a Poulos e Davis e basata sulla equazione di Mindlin per il semispazio elastico. Tale formulazione è ottenuta eguagliando gli spostamenti del palo con quelli del suolo e portano ad una espressione matriciale che fornisce le tensioni nel suolo. Ottenute queste si risale agli spostamenti. L'equazione matriciale è la seguente, dove le matrici I_p e I_s raccolgono i così detti

“coefficienti di influenza” che sono i termini ottenuti per integrazione numerica delle equazioni differenziali che governano il problema ed in altri ambiti vengono chiamati coefficienti della matrice di rigidezza o di flessibilità.

$$\rho = (I - k I_p I_s)^{-1} Y$$

con:

$$k = \frac{n^2 E_p}{4 \left(\frac{L}{d}\right)^2 E_s}$$

dove n è il numero degli intervalli di discretizzazione e Y è il vettore delle azioni esterne.

Bibliografia

- H.G. Poulos, E. H. Davis, Elastic Solutions for Rock and Soil Mechanics, John Wiley & Son, 1974
H.G. Poulos, E. H. Davis, Pile Foundation Analysis and Design, Rainbow-Bridge Book. Co.
R. L. Mosher, W. P. Dawkins, Theoretical Manual for Pile Foundations, U.S Army Corps of Engineers
F. Azizi, Applied Analysis in Geotechnics, E & FN Spon
J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, Int. Student Edition
G. Vannuchi et al., Dispense di geotecnica