



REGIONE MOLISE
Provincia di Campobasso
COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS



OGGETTO
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO
 NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)**

COMMITTENTE
WIND ENERGY SAN MARTINO SRL

PROGETTAZIONE
 Codice Commessa PHEEDRA: 19_37_EO_SMP

 **PHEEDRA S.r.l.** Via Lago di Nemi, 90
 74121 - Taranto
 Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285
 e-mail: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it

Dott. Ing. Angelo Micolucci

ORDINE INGEGNERI PROVINCIA TARANTO
 Sezione A
 Settore:
 Civile Ambientale
 Industriale
 Informazione

Dott. Ing.
MICOLUCCI Angelo
 n° 1851

1	Novembre 2019	PRIMA EMISSIONE	CD	AM	VS
REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO
024 - RELAZIONE GEOTECNICA

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	FOGLI
A4	-	SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	SMP-CIV-REL-024_01	-
		SMP	CIV	REL	024	01		

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI	3
3.1. Caratteristiche geotecniche dei terreni.....	4
4. CARATTERISTICHE SISMICHE	5
5. INDAGINI DA ESEGUIRE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6. CRITERI DI PROGETTO, MODELLAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE	6
6.1. Determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde.....	7
6.2. Carico limite verticale alla punta del palo.....	8
6.3. Carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo.....	12
7. TABULATI DI CALCOLO	15
7.1. Simbologia adottata nei tabulati di calcolo.....	15
7.2. Parametri di calcolo.....	17
7.3. Combinazioni di carico.....	17
7.4. Archivio stratigrafie.....	18
7.5. Archivio terreni.....	18
7.6. Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde.....	19
7.7. Valori di calcolo della portanza per fondazioni profonde.....	23
7.8. Valori di calcolo dei cedimenti per fondazioni profonde.....	27

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

1. PREMESSA

Nella presente relazione è descritto, il dimensionamento delle fondazioni degli aerogeneratori del parco eolico in progetto, ubicato nel territorio del Comune di Sant'Agata di Puglia, in Provincia di Foggia. In particolare tale parco eolico, costituito in totale da n° 11 aerogeneratori, coinvolge un'area di territorio non omogenea ed in particolare costituito da differenti caratteristiche geologiche e litostratigrafiche, per cui sono state previsti approfonditi studi al fine di definire la geometria per le fondazioni per gli aerogeneratori. Le elaborazioni di seguito proposte sono da considerare indicative e dovranno essere necessariamente supportate in una fase successiva da indagini in sito e di laboratorio, per meglio caratterizzare i litotipi presenti nel sottosuolo delle diverse aree interessate e individuarne le caratteristiche geotecniche e meccaniche.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In quanto di seguito riportato viene fatto esplicito riferimento alle seguenti Normative:

- **LEGGE n° 64 del 02/02/1974.** "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.";
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.";
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996.** "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.";
- **Circolare Ministeriale LL.PP. n° 65/AA.GG. del 10/04/1997.** "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.";
- **Eurocodice 1 - Parte 1** - "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo -.";
- **Eurocodice 7 - Parte 1** - "Progettazione geotecnica - Regole generali -.";
- **Eurocodice 8 - Parte 5** - "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici -.";
- **D.M. 14/01/2008 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**
- **Circolare n. 617 del 02/02/2009**

3. PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI

L'area di studio, su cui sono previsti come da progetto gli 11 aerogeneratori, compresa su quote di circa 300 e 400 metri s.l.m.m. appare come un'area di versante collinare degradante dolcemente verso sud.

Il territorio di studio è ricoperto prevalentemente da terreni sabbiosi di età Plio-Pleistocenica solo a sud ovest affiorano rocce preplioceniche con facies di "flysch" specialmente nelle pendici dei rilievi della Daunia e di Melfi.

I rilievi collinari della zona dei "Flysch" raggiungono quote intorno a 500 metri s.l.m.. Poiché i sedimenti danno origine a rilievi essenzialmente argillosi, la morfologia è dolce e i fianchi delle colline scendono con moderato pendio.

Solo la sommità di alcune alture si mostra aspra e scoscesa in corrispondenza di limitati affioramenti di calcari, brecce e arenarie mediamente compatte.

Nell'area in esame si possono individuare due blocchi riferibili cronologicamente ad altrettanti periodi; il primo, più antico, interessa la serie dei depositi prepliocenici, mentre il secondo è caratterizzato dalla presenza della serie plio-pleistocenica che ricopre gran parte dell'area di studio. Esso tra l'altro risulta essere il terreno fondale

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 3 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

dell'intervento di progetto pertanto sarà descritto dettagliatamente. (di seguito si allega una schematizzazione dei rapporti stratigrafici). Si tratta complessivamente di una serie sabbiosa-argillosa con episodi conglomeratici alla base ed alla sommità, pertanto essa rappresenta un intero ed unico ciclo sedimentario anche se i termini più alti possono comprendere episodi secondari di variazioni eustatiche e di alluvionamento.

Per un maggiore dettaglio degli strati costituenti l'area oggetto di esame, si rimanda all'elaborato denominato "Relazione geologica, idraulica, sismica ed idrogeologica", redatto dal geol. Dott. Fusco.

3.1. Caratteristiche geotecniche dei terreni

Per quanto riguarda l'individuazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo del territorio in esame, esse sono state desunte dalle prove geognostiche svolte direttamente sui diversi siti di interesse (siti aerogeneratori, porzioni di territorio attraversate dal tracciato del cavidotto, ecc.) e da dati derivanti da lavori svolti nel tempo in aree ricadenti nello stesso territorio o ad esso assimilabili dal punto di vista geologico e litostratigrafico, unitamente a dati presenti nella letteratura scientifica riguardanti sia i terreni di copertura (terreno pedogenizzato e orizzonte di alterazione del substrato roccioso locale) e quelli detritici superficiali (detriti di versante, depositi eluvio-colluviali, depositi caotici di frana, ecc.) sia le caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni litoidi costituenti i diversi substrati di base locali.

Sulla base dell'analisi dei suddetti dati è possibile assegnare genericamente, ed in via approssimativa e cautelativa, ai terreni presenti nei primi orizzonti più superficiali (terreni di copertura e terreni detritici superficiali) del sottosuolo del territorio in esame i seguenti parametri geotecnici:

Categoria - C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < Cu < 250kPa$).

Ovviamente la suddetta parametrizzazione risulta essere una mera rappresentazione di massima, e molto generica, delle caratteristiche dei terreni presenti sul territorio in esame. Un'estesa campagna geognostica (sondaggi geognostici, prove penetrometriche SPT, prelievo campioni per analisi di laboratorio, ecc.) andrà necessariamente svolta in una fase successiva rispetto a questa di studio preliminare sui singoli siti e/o aree coinvolte dal progetto, al fine di stabilire con precisione la natura litologica reale dei terreni presenti nei diversi sottosuoli e le relative caratteristiche geotecniche.

Il modello geologico e geotecnico ottenuto dalla totalità delle indagini effettuate, può essere schematizzato e semplificato in due macro litologie, a tratti, entrambe intercalate da livelletti di brecce calcaree.

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 4 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

4. CARATTERISTICHE SISMICHE

Come già detto in precedenza l'area su cui è previsto l'intervento in esame risulta posto nel territorio comunale di San Marco in Pensilis, nella Provincia di Campobasso e, quindi nella Regione Molise.

Sulla base della D.G.R. n° 153 del 2 marzo 2004 il territorio comunale di San Martino in Pensilis risulta classificato dal punto di vista sismico come Zona 2.

I valori di pericolosità sismica riportati dalle seguenti carte sono espressi in termini di accelerazione massima del suolo (a_g = frazione della accelerazione di gravità), riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s ovvero cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), con probabilità di eccedenza in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2%.

Si ribadisce che in questa fase i valori di a_g sono prettamente statistici, in fase esecutiva di progetto, per valutare la reale corrispondenza di tali valori bisognerà ricorrere alla procedura di analisi contenuta nella Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Per eseguire l'analisi mediante i dettami del NTC 2018, sarà necessario eseguire le indagini sismiche puntuali, così come sopra riportato, da cui ricavare il parametro V_{s30} del sottosuolo. La conoscenza di tale parametro permetterà di attribuire alla zona interessata dal progetto, una determinata categoria di suolo, così come previsto dalla tabella 3.2 II – Categorie di sottosuolo NTC 2018.

AREA INTERESSATA	INDAGINE DIRETTE	INDAGINI INDIRETTE
WTG 1	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 2	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 3	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 4	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 5	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 6	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 7	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 8	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 9	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"
WTG 10	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto"

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 5 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

AREA INTERESSATA	INDAGINE DIRETTE	INDAGINI INDIRETTE
WTG 11	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto
WTG 12	n°1 Sondaggio in corrispondenza della fondazione di progetto	n°1 Indagine "DOWN – HOLE – in corrispondenza della fondazione in progetto

Inoltre verranno eseguite n°2 Indagini a rifrazione per ciascuna zona che intercorre tra i diversi sondaggi diretti ossia tra le 12 aree dove sono previste le fondazioni di progetto.

5. CRITERI DI PROGETTO, MODELLAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE

In questa fase si ipotizza la progettazione di una fondazione su plinti di forma quadrangolare con una larghezza e lunghezza pari a 20,00 m ed una altezza massima di 4 m, poggianti su pali trivellati aventi una lunghezza di 30,00m.

Le torri eoliche in progetto, per semplicità di calcolo, si ipotizzano poggianti su terreni aventi tutti la stessa tipologia di progetto.

Gli aerogeneratori secondo progetto saranno ubicati per gran parte sulle aree sommitali dei vari rilievi collinari presenti nell'intera area in esame. In tali zone di "crinale" la copertura di alterazione (suolo) del substrato "roccioso" può in taluni casi presentarsi con uno spessore più ridotto rispetto alle zone di versante, così come in generale i crinali appaiono zone più stabili.

Ove il substrato "roccioso integro" sarà rinvenuto a breve profondità dal piano campagna (tali condizioni potranno essere analizzate solo dopo opportune indagini geognostiche in situ) le strutture fondali delle opere in progetto sia esse di tipo superficiale (platea) sia di tipo profondo (pali) dovranno interessare ("essere attestate") tale substrato roccioso locale "inalterato". Si tratterà, quindi, di realizzare in ogni caso fondazioni su substrato roccioso, anche se di natura flyschoidale.

Nel caso di fondazioni superficiali su **substrato roccioso**, sia esso carbonatico, arenaceo e argilloso (argille sovraconsolidate), la resistenza della roccia base in situ, come riportato da alcune pubblicazioni a carattere tecnico-scientifico, è probabilmente dello stesso ordine di grandezza di quella del calcestruzzo di fondazione. Questo se la roccia è integra.

Nel caso di rocce non integre, la presenza di fratture (ancor più di diverse famiglie di fratture) o una profonda alterazione (pedogenizzazione, argillificazione, ecc.) può determinare un aumento drastico della compressibilità delle masse rocciose. Il grado di influenza nel caso per esempio di un substrato roccioso carbonatico interessato da "faturazione" appare legato alla suddivisione e alla dimensione delle fratture, alla larghezza delle fratture stesse (nel caso di fratture beanti) e al fatto se esse siano riempite o meno da sedimenti compressibili. Per tenere conto della possibilità che la roccia non sia integra è consuetudine usare coefficienti di sicurezza elevati (ad esempio da 6 a 10 rispetto alla resistenza a compressione uniassiale q_u) e, nel caso in cui si verifica la situazione di un semplice contatto tra calcestruzzo e roccia, di usare non più della resistenza a compressione del calcestruzzo come capacità portante della roccia.

In generale la capacità portante nel caso di fondazioni superficiali in roccia si esprime come:

$$q_0 = C * q_u$$

ove C può essere solitamente dell'ordine di 0,2-0,3.

Per quanto attiene il caso di un substrato roccioso flyschoidale, costituito da alternanze di calcari, argille, marne ed arenarie, da vari lavori presenti nella letteratura scientifico-tecnica e riguardanti la caratterizzazione

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 6 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

geomeccanica di diversi ammassi rocciosi, con diversi gradi di fatturazione e di alterazione, è possibile attribuire ad esso un valore medio di resistenza a compressione uniassiale pari a circa 1-2 MPa. Per quanto attiene il caso di fondazioni su roccia di tipo profondo (pali) la letteratura scientifico-tecnica propone di considerare la "capacità portante ultima strutturale" del palo stesso V_s che può essere espressa come:

$$V_s = \Phi * P$$

ove P è la resistenza massima di un pilastro sottoposto a compressione semplice e Φ un fattore di riduzione della capacità del palo che varia in funzione dei differenti tipi di palo, dalle incertezze ed imprecisioni proprie nella costruzione dei pali e delle distorsioni degli assi del palo.

Come si legge dalla relazione geologica: "l'analisi compiuta può consentire di affermare che, allo stato attuale, non si evidenziano fattori riconducibili a fenomeni di natura geostatica che implicino modifiche degli equilibri raggiunti. Le unità sopra descritte rappresentano il terreno che direttamente interagirà con le strutture di fondazione delle opere in progetto, e fino alla profondità da noi investigate, (circa 15 metri) rinveniamo le Sabbie- limose appartenenti all'unità dei conglomerati di Campomarino. Questi terreni non rappresentano verosimilmente un'unica fase di deposizione; la distribuzione e la diversa altezza degli affioramenti fanno pensare che la rete idrografica che li ha determinati non presentasse grande analogia con l'attuale o che comunque non fosse ancora bene impostata. Probabilmente si tratta di una successione di fasi di accumulo e di erosione caratterizzate dalla presenza di depressioni interne ove, a depositi di natura essenzialmente lacustre, si alternavano episodi di facies deltizia e fluviale.

Essi poggiano sulla superficie erosa della serie marina pliocenico-calabrianiana o, nelle aree più vicine alla costa, sui Conglomerati di Campomarino. Nell'area del foglio S. Severo i terrazzi più alti ascritti a fl. 1 si trovano nella zona a Sud di Uruvi e superano i 300 m di quota; qui essi sono costituiti da argille grigiogiallastre con ciottolame di media dimensione, croste travertinose e straterelli di calcare bianco pulverulento; da questa zona essi degradano rapidamente verso E in direzione dei corsi del T. Saccione. Da rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, dai dati bibliografici si è effettuata una ricostruzione stratigrafica dalla quale si è evinto che la totalità dell'area è interessata da un esiguo affioramento di terreno vegetale che ricopre le sabbie limose intercalate da vari livelli di brecce calcaree fino ad una profondità media di 15.00 metri dal p.c."

Onde tener conto di tale situazione sono stati eseguite delle calcolazioni relativamente a fondazioni di tipo profondo.

5.1. Determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde

Dal momento che gli aerogeneratori andranno ad attestarsi nel substrato "substrato flyshoide", vista sia la situazione stratigrafica e geomeccanica dei terreni di sedime, sia le caratteristiche strutturali dell'opera in progetto, si ritiene che per essa la soluzione fondale più idonea sia, in tale situazione, l'adozione di fondazioni di tipo profondo.

Tale struttura fondale potrà essere realizzata tramite una palificata costituita da pali di grande diametro armati per tutto il loro sviluppo per la presenza di carichi orizzontali (sisma) e di lunghezza tale da andarsi ad attestare almeno a partire dalla quota di 25 - 30 m dal piano campagna laddove si rinvenivano litotipi con caratteristiche geomeccaniche idonee.

Prendendo in esame in prima analisi pali trivellati è stato calcolato il valore del carico assiale limite (Q_{lim}) assumendo per il singolo palo un diametro $\varnothing = 1$ m.

Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Queste due componenti in genere sono calcolate in

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 7 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

maniera autonoma dato che risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico è assorbita dall'attrito laterale e quanta dalla resistenza alla punta. Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione (nel calcolo della portanza verticale è possibile tenere in conto tutti o solo uno dei contributi su definiti):

$$Q_C = \frac{Q_P}{\eta_P} + \frac{Q_L}{\eta_L} - W_{ATT.NEG.} - W_P \quad (\text{caso di palo in compressione}) \quad Q_T$$

$$= \frac{Q_L}{\eta_L} + W_P \quad (\text{caso di palo in trazione})$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- Q_C resistenza a compressione del palo
- Q_T resistenza a trazione del palo
- Q_P carico limite verticale alla punta del palo
- Q_L carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo
- $W_{ATT.NEG.}$ attrito negativo agente sul palo
- W_P peso totale del palo
- η_P coefficiente di sicurezza per carico limite verticale alla punta del palo
- η_L coefficiente di sicurezza per carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo

I valori del carico limite verticale alla punta del palo " Q_P " e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo " Q_L " sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, della modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

Di seguito si illustrano le metodologie con le quali saranno determinati i valori prima citati; è necessario tenere presente che tali metodi sono riferiti al calcolo del "singolo palo" e per estendere tale modalità computazione al caso di "pali in gruppo" si farà ricorso ai "coefficienti d'efficienza", in questo modo si potrà tenere in debito conto l'interferenza reciproca che i pali esercitano.

5.2. Carico limite verticale alla punta del palo

Il valore del carico limite verticale alla punta del palo, indipendentemente dal metodo utilizzato per la sua determinazione, è condizionato dalla modalità esecutiva. Esso varia notevolmente a seconda che il palo sia del tipo "infisso" o "trivellato" poiché le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno circostante il palo variano in seguito alle operazioni d'installazione. Di conseguenza, per tenere conto della modalità esecutiva nel calcolo dei coefficienti di portanza, si propone di modificare il valore dell'angolo di resistenza a taglio secondo quanto suggerito da Kishida (1967):

$$\phi_{cor} = \frac{\phi + 40}{2} \quad (\text{per pali infissi}) \quad \phi_{cor} = \phi - 3^\circ \quad (\text{per pali trivellati})$$

Con la correzione di cui sopra si determineranno i fattori adimensionali di portanza che sono presenti nella relazione per la determinazione del carico limite verticale alla punta che assume la seguente espressione:

$$Q_P = A_P \cdot (q_P \cdot N_q^* + c \cdot N_c^*)$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- A_P superficie portante efficace della punta del palo

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 8 di 34
---	-----------------------------	----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

- q_p pressione del terreno presente alla punta del palo
- c coesione del terreno alla punta del palo (nel caso di condizione non drenata $c = c_u$)
- N_q^*, N_c^* fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno ϕ_{corp} del terreno già corretti

In letteratura esistono diverse formulazioni per il calcolo dei fattori adimensionali di portanza, di seguito si riportano quelle che sono state implementate:

Formulazione di Meyerhof per base poggiate su terreni sciolti (1951)

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

$$\begin{aligned}
 N_q &= \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\phi)} & N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi) \\
 s_q &= 1 + 0.1 \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) & s_c &= 1 + 0.2 \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) && \text{(fattori di forma)} \\
 d_q &= 1 + 0.1 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} & d_c &= 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} && \text{(fattori d'approfondimento)} \\
 N_q^* &= N_q \cdot s_q \cdot d_q & N_c^* &= N_c \cdot s_c \cdot d_c
 \end{aligned}$$

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$\begin{aligned}
 N_q &= 1.00 & N_c &= \pi + 2 \\
 s_q &= 1.00 & s_c &= 1.20 && \text{(fattori di forma)} \\
 d_q &= 1.00 & d_c &= 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} && \text{(fattori d'approfondimento)} \\
 N_q^* &= N_q \cdot s_q \cdot d_q & N_c^* &= N_c \cdot s_c \cdot d_c
 \end{aligned}$$

Formulazione di Hansen per base poggiate su terreni sciolti (1970)

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

$$\begin{aligned}
 N_q &= \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\phi)} & N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi) \\
 s_q &= 1 + \text{tg}(\phi) & s_c &= 1 + \frac{N_q}{N_c} && \text{(fattori di forma)} \\
 d_q &= 1 + 2 \cdot \text{tg}(\phi) \cdot (1 - \text{sen}(\phi))^2 \cdot \theta & d_c &= 1 + 0.4 \cdot \theta && \text{(fattori d'approfondimento)} \\
 \text{dove: se } \frac{L}{D} \leq 1 &\Rightarrow \theta = \frac{L}{D}, \text{ se } \frac{L}{D} > 1 &\Rightarrow \theta = \text{arctg}\left(\frac{L}{D}\right) \\
 N_q^* &= N_q \cdot s_q \cdot d_q & N_c^* &= N_c \cdot s_c \cdot d_c
 \end{aligned}$$

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$\begin{aligned}
 N_q &= 1.00 & N_c &= \pi + 2 \\
 s_q &= 1.00 & s_c &= 1.20 && \text{(fattori di forma)}
 \end{aligned}$$

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 9 di 34
---	-----------------------------	----------------

$$d_q = 1.00 \qquad d_c = 1 + 0.4 \cdot \theta \qquad \text{(fattori d'approfondimento)}$$

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q \qquad N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

Formulazione di Zeevaert per base poggiate su terreni sciolti (1972)

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{\cos^2(\phi)}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi + \phi}{4}\right)} \cdot e^{\left(\frac{5 \cdot \pi}{2} + \phi\right) \cdot \text{ctg}(\phi)} \qquad N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00 \qquad N_c^* = 9.00$$

Formulazione di Berezantzev per base poggiate su terreni sciolti (1970)

Berezantzev fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano della punta del palo. Inoltre considera il cilindro di terreno coassiale al palo (avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento) in parte sostenuto da tensioni tangenziali dal rimanente terreno presente lungo la superficie laterale del cilindro. Conseguentemente il valore della pressione presente alla punta del palo è inferiore alla corrispondente pressione litostatica ed è influenzata dal rapporto tra la profondità alla quale è posta la punta "L" del palo e il diametro "D" dello stesso. Quindi il valore di N_q^* è influenzato da questo effetto "Silo". I valori che l'autore propone sono:

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

Valori di N_q^* per pali di diametro fino a 80.0 cm.

L/Δ	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.07	2.18	3.15	4.72	7.15	10.73	15.85	22.95	32.62	45.56	62.69	85.18	114.53	152.71	202.32	266.82	350.86	460.79	605.36
12	1.04	1.77	2.46	3.64	5.52	8.42	12.71	18.85	27.44	39.21	55.07	76.20	104.13	140.81	188.86	251.72	334.05	442.17	584.82
20	1.03	1.63	2.20	3.20	4.82	7.38	11.22	16.82	24.76	35.79	50.83	71.06	98.01	133.65	180.59	242.29	323.39	430.21	571.48
28	1.03	1.54	2.05	2.93	4.40	6.72	10.26	15.48	22.96	33.43	47.84	67.37	93.54	128.35	174.39	235.13	315.21	420.95	561.08
36	1.02	1.49	1.94	2.75	4.10	6.26	9.57	14.49	21.60	31.64	45.53	64.48	90.00	124.10	169.36	229.27	308.46	413.26	552.38
50	1.02	1.42	1.82	2.53	3.74	5.68	8.70	13.23	19.84	29.27	42.45	60.56	85.14	118.18	162.30	220.95	298.80	402.16	539.74
75	1.02	1.35	1.69	2.30	3.33	5.02	7.69	11.74	17.73	26.37	38.58	55.55	78.82	110.38	152.84	209.67	285.53	386.74	522.01
100	1.01	1.31	1.61	2.14	3.07	4.60	7.02	10.74	16.28	24.34	35.84	51.95	74.19	104.56	145.68	201.02	275.23	374.64	507.95
200	1.01	1.22	1.44	1.84	2.54	3.71	5.60	8.56	13.05	19.73	29.43	43.30	62.82	89.95	127.29	178.30	247.63	341.59	468.90
500	1.01	1.14	1.29	1.55	2.02	2.82	4.14	6.24	9.50	14.45	21.83	32.64	48.25	70.49	101.85	145.69	206.57	290.75	406.87

Valori di N_q^* per pali di diametro maggiore a 80.0 cm.

L/Δ	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.16	3.09	3.95	5.04	6.44	8.22	10.50	13.41	17.12	21.87	27.92	35.65	45.53	58.14	74.24	94.80	121.05	154.57	197.38
12	1.21	3.14	3.98	5.05	6.42	8.14	10.34	13.13	16.68	21.18	26.90	34.17	43.41	55.15	70.07	89.03	113.13	143.77	182.72
20	1.26	3.18	4.01	5.06	6.39	8.06	10.18	12.85	16.23	20.49	25.88	32.69	41.29	52.16	65.89	83.26	105.21	132.97	168.06
28	1.30	3.22	4.04	5.07	6.36	7.99	10.02	12.57	15.78	19.81	24.86	31.20	39.17	49.16	61.72	77.49	97.29	122.16	153.40
36	1.35	3.27	4.07	5.08	6.34	7.91	9.86	12.30	15.33	19.12	23.84	29.72	37.04	46.17	57.55	71.72	89.38	111.36	138.75
44	1.39	3.31	4.10	5.09	6.31	7.83	9.70	12.02	14.88	18.43	22.81	28.23	34.92	43.18	53.38	65.95	81.46	100.56	124.09
52	1.44	3.35	4.14	5.10	6.29	7.75	9.54	11.74	14.44	17.74	21.79	26.75	32.80	40.19	49.21	60.18	73.54	89.76	109.43
56	1.46	3.37	4.15	5.10	6.27	7.71	9.46	11.60	14.21	17.40	21.28	26.00	31.74	38.70	47.12	57.30	69.58	84.36	102.10
60	1.49	3.39	4.17	5.11	6.26	7.67	9.38	11.46	13.99	17.06	20.77	25.26	30.68	37.20	45.03	54.42	65.62	78.96	94.77

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

65	1.51	3.42	4.19	5.12	6.25	7.62	9.28	11.29	13.71	16.63	20.13	24.33	29.35	35.33	42.43	50.81	60.67	72.21	85.61
----	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 9.00$$

Formulazione di Vesic per base poggiate su terreni sciolti (1975)

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{3}{3 - \text{sen}(\phi)} \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot I_{rr}^{\frac{4 \cdot \text{sen}(\phi)}{8 \cdot (1 + \text{sen}(\phi))}} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \cdot \text{tg}(\phi)} \quad N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \varepsilon_v \cdot I_r} \quad \varepsilon_v = \frac{q_p \cdot \alpha}{E_t} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{(1 - \nu)} \quad I_r = \frac{E_t}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot (c + q_p \cdot \alpha \cdot \text{tg}(\phi))}$$

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = \frac{4}{3} \cdot (\log_n(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- E_t modulo elastico del terreno alla profondità della punta del palo
- ν coefficiente di Poisson del terreno alla profondità della punta del palo
- α coefficiente di riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo

Nel caso in cui si scelga di effettuare la riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo (cioè $\alpha \neq 1$) il coefficiente di riduzione " α " assume la seguente espressione:

$$\alpha = \frac{1 + 2 \cdot K_0}{3} \quad \text{dove: se } \phi \neq 0 \Rightarrow K_0 = 1 - \text{sen}(\phi); \quad \text{se } \phi = 0 \Rightarrow K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Formulazione di Janbu per base poggiate su terreni sciolti (1976)

1. se $\phi \neq 0$ (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \left(\text{tg}(\phi) + \sqrt{1 + \text{tg}^2(\phi)}\right)^2 \cdot e^{2 \cdot \vartheta \cdot \text{tg}(\phi)} \quad N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

$$\vartheta = 60 + 0.45 \cdot Dr$$

dove " Dr " è la densità relativa del terreno.

2. se $\phi = 0$ (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 5.74$$

Formulazione di Terzaghi per base poggiate su roccia (1943)

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 11 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

Per la determinazione del carico limite nel caso di presenza di ammasso roccioso bisogna valutare molto attentamente il grado di solidità della roccia stessa. Tale valutazione viene in genere eseguita stimando l'indice *RQD* (Rock Quality Designation) che rappresenta una misura della qualità di un ammasso roccioso. Tale indice può variare da un minimo di 0 (caso in cui la lunghezza dei pezzi di roccia estratti dal carotiere è inferiore a 100 mm) ad un massimo di 1 (caso in cui la carota risulta integra) ed è calcolato nel seguente modo:

$$RQD = \frac{\sum \text{lunghezze dei pezzi di roccia intatta} > 100\text{mm}}{\text{lunghezza del carotiere}}$$

Se il valore di *RQD* è molto basso la roccia è molto fratturata ed il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso va condotto alla stregua di un terreno sciolto utilizzando tutte le formulazioni sopra descritte.

$$N_q = \frac{e^{2 \cdot \left(\frac{3 \cdot \pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)} \cdot \text{tg}(\phi)}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi + \phi}{4}\right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi) \quad \text{se } \phi = 0 \Rightarrow N_c = \frac{3}{2} \cdot \pi + 1$$

$$s_q = 1.00 \quad s_c = 1.30 \quad (\text{fattori di forma})$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q \quad N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

Formulazione di Stagg-Zienkiewicz per base poggiate su roccia (1968)

$$N_q = \text{tg}^6\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right) \quad N_c = 5 \cdot \text{tg}^4\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right)$$

$$s_q = 1.00 \quad s_c = 1.30 \quad (\text{fattori di forma})$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q \quad N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

5.3. Carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo

Il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo è dato dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali che si sviluppano all'interfaccia palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int_{\Gamma} \tau_{\text{lim}} \cdot d\Gamma = \int_0^L (c_a + \sigma_h \cdot \text{tg}(\delta)) \cdot P_{\text{lat}} \cdot dz$$

dove i simboli sopra riportati hanno il seguente significato:

- χ_a adesione all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- σ_h tensione orizzontale alla generica profondità "z"
- δ angolo di resistenza a taglio all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- P_{lat} perimetro della sezione trasversale del palo alla generica profondità "z"
- L sviluppo longitudinale del palo

Analogamente al carico limite alla punta, anche il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo varia notevolmente a seconda che esso sia del tipo "infisso" o "trivellato" a causa del diverso comportamento del terreno circostante in palo. Conseguentemente i parametri sopra riportati possono essere correlati da leggi diverse in funzione delle modalità di esecuzione del palo. Di seguito si descrivono quelle che

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 12 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

sono state implementate.

L'adesione " c_a " è correlata alla coesione " c " nel caso di condizioni drenate; oppure alla coesione non drenata " c_u " nel caso di condizioni non drenate, per mezzo del coefficiente d'adesione " ψ " secondo la seguente relazione:

$$c_a = c_* \cdot \psi \quad \text{dove: } c_* = c \text{ (in condizione drenata);}$$

$$c_* = c_u \text{ (in condizione non drenata).}$$

Esprimendo il valore di " c " in N/cm², il coefficiente d'adesione " ψ " può assumere i seguenti valori:

Caquot-Kerisel (consigliato per pali trivellati)

$$\psi = \frac{100 + c_*^2}{100 + 7 \cdot c_*^2}$$

Meyerhof-Murdock (consigliato per pali trivellati)

$$\text{se } c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 1.000 - 0.100 \cdot c_*$$

$$\text{se } c_* > 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.525 - 0.005 \cdot c_*$$

Whitaker-Cooke (consigliato per pali trivellati)

$$\text{se } c_* \leq 2.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.90$$

$$\text{se } 2.50 < c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.80$$

$$\text{se } 5.00 < c_* \leq 7.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.60$$

$$\text{se } c_* > 7.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

Woodward (consigliato per pali trivellati)

$$\text{se } c_* \leq 4.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.90$$

$$\text{se } 4.00 < c_* \leq 8.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.60$$

$$\text{se } 8.00 < c_* \leq 12.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.50$$

$$\text{se } 12.00 < c_* \leq 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

$$\text{se } c_* > 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.30$$

Viggiani e altri (consigliato per pali infissi)

$$\text{se } c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 1.00$$

$$\text{se } 5.00 < c_* \leq 10.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.70$$

$$\text{se } 10.00 < c_* \leq 15.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.50$$

$$\text{se } 15.00 < c_* \leq 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

$$\text{se } c_* > 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.30$$

Il valore della tensione orizzontale " σ_h " è correlato al valore della pressione verticale " σ_v " per mezzo del coefficiente di spinta orizzontale " K_s " secondo la seguente relazione:

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_s$$

Il valore di " K_s " dipende essenzialmente dal tipo di terreno e dal suo stato d'addensamento nonché dalla tecnologia utilizzata per l'installazione.

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 13 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

Il programma permette di scegliere tra differenti teorie per il calcolo di K_s .

1. Opzione 1:

Metodo "Tomlinson (1971)"

K_s può variare da un limite inferiore pari al coefficiente di spinta a riposo " K_0 " fino a valori prossimi al coefficiente di spinta passiva " K_p "; i valori proposti sono:

pali trivellati: $K_s = K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$

pali infissi: $K_s =$ variabile da: $K_p = 1 + \text{tg}^2(\phi)$ in sommità fino a $K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$ alla punta

2. Opzione 2:

Metodo di "Kulhavy (1983)"

pali trivellati: $K_s = \alpha K_0$ con α variabile tra 2/3 e 1

pali infissi: $K_s = \alpha K_0$ con α variabile da 3/4, per compattazione del terreno trascurabile, fino a 2, nel caso di compattazione significativa.

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio all'interfaccia terreno-palo " δ " è funzione della scabrezza della superficie del palo e quindi della modalità esecutiva; i valori proposti sono:

$$\delta = \arctg(\text{tg}(\phi)) \quad (\text{per pali trivellati}) \quad \delta = \arctg\left(\frac{3}{4} \cdot \text{tg}(\phi)\right) \quad (\text{per pali infissi})$$

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 14 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

6. TABULATI DI CALCOLO

6.1. Simbologia adottata nei tabulati di calcolo

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde

- X elem. ascissa nel riferimento globale dell'elemento
- Y elem. ordinata nel riferimento globale dell'elemento
- Profon. profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lungh. dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Altez. altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Rotaz. rotazione dell'elemento rispetto al suo baricentro
- Grup. ap. nel caso cui l'elemento faccia parte di una palificata, rappresenta il numero identificativo della stessa
- Ind. Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Tip. iniez. tipologia d'iniezione dei micropali ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (No iniez. = assenza d'iniezione, Iniez.uni. = iniezione unica, Iniez.rip. = iniezione ripetuta)
- Tip. ter. tipologia di terreno ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (Coes. = coesivo, Inc. = incoerente)
- Dia. P. diametro fusto del palo
- Lun. P. lunghezza totale del palo
- Lun. L. lunghezza tratto del palo senza contributo di terreno
- Dis. P. distanza del baricentro del palo dal bordo del plinto
- In. Px interasse principale del palo
- In. Py interasse secondario del palo
- Dia. B. diametro bulbo del palo
- Lun. B. lunghezza della sbulbatura del palo
- E.C.V. coefficiente d'efficienza per carico limite verticale del singolo palo
- E.C.C. coefficiente d'efficienza per carico critico verticale del singolo palo
- E.C.T. coefficiente d'efficienza per carico limite trasversale del singolo palo
- Svin. testa codice di svincolo alla rotazione in testa al palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Vin. piede codici di vincolo rispettivamente alla rotazione orizzontale, traslazione orizzontale e traslazione verticale applicabili al piede del palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Asc. X' ascissa del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Asc. Y' ordinata del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Peso spec. peso specifico del palo
- Mod. El. Pa. modulo elastico normale del palo

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 15 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni profonde

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- S. Normale sollecitazione normale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante X' sollecitazione tagliante lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante Y' sollecitazione tagliante lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale X' sollecitazione flessionale lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale Y' sollecitazione flessionale lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Torsionale sollecitazione torsionale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)

Valori di calcolo per le fondazioni profonde

- Port. punta carico limite verticale alla punta del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. lat. carico limite verticale lungo la superficie laterale del fusto del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. bulbo carico limite verticale lungo la superficie laterale del bulbo del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- C. Critico carico critico per l'instabilità del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Attr. Neg. attrito negativo agente sul palo (valore su singolo palo)
- Peso Palo peso totale del singolo palo
- Cmb numero e tipologia della combinazione di carico
- S. Norm. sollecitazione normale agente alla testa del palo in esame
- V. V. Com. resistenza a compressione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- V. V. Tra. resistenza a trazione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Com. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a compressione (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a trazione (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- S. Tagl. sollecitazione tagliante agente alla testa del palo
- S. Fles. sollecitazione flessionale agente alla testa del palo
- V. V. Trs. resistenza trasversale del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione tagliante agente alla testa del palo e la sua resistenza trasversale (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- Ced. V. cedimento verticale in corrispondenza della testa del palo
- Ced. H. cedimento orizzontale in corrispondenza della testa del palo

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 16 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
-----------------------------	--	---

6.2. Parametri di calcolo

Modalità di calcolo della portanza verticale per fondazioni profonde:

Per elementi con pali: Portanza di punta e laterale
 Per elementi con micropali: Portanza di punta e laterale

Metodi di calcolo della portanza di punta per fondazioni profonde:

Per terreni sciolti: Vesic
 Riduzione della tensione litostatica: No
 Per terreni lapidei: Terzaghi
 Riduzione di Kishida per pali battuti o trivellati: Si
 Metodo di calcolo del coefficiente di spinta orizzontale Ks: Tomlinson

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per Tensioni Ammissibili e S.L.E. nel calcolo della portanza per fondazioni profonde:

Coeff. di sicurezza alla punta: 2,50
 Coeff. di sicurezza lungo il fusto: 2,50
 Coeff. di sicurezza lungo il bulbo: 2,50
 Coeff. di sicurezza per palo in trazione: 2,50

6.3. Combinazioni di carico

APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per S.L.U. nel calcolo della portanza per pali trivellati:

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per $\tan \phi$ (statico): 1
- Coeff. M1 per c' (statico): 1
- Coeff. M1 per C_u (statico): 1
- Coeff. M1 per $\tan \phi$ (sismico): 1
- Coeff. M1 per c' (sismico): 1
- Coeff. M1 per C_u (sismico): 1
- Coeff. R3 base: 1,35
- Coeff. R3 laterale in compressione: 1,15
- Coeff. R3 laterale in trazione: 1,25

Fattore di correlazione: 1,70

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 17 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	---	---

6.4. Archivio stratigrafie

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 1

Numero strati: 3

Profondità falda: assente

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito
Neg.				
1	da 0,0 a -7000,0 cm	7000,0 cm	001 / Limo	Assente
2	da -7000,0 a -10000,0 cm	3000,0 cm	002 / Limo argilloso	Assente
3	da -10000,0 a -60000,0 cm	50000,0 cm	003 / Argilla dura	Assente

6.5. Archivio terreni

Indice / Descrizione terreno: **001 / Limo**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm ²	daN/cm ²	Gradi°	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²	%	%	
1,950 E-3	1,900 E-3	23,000	0,330	80,608	150,000	60,0	0,379	0,67

Indice / Descrizione terreno: **002 / Limo argilloso**

Comportamento del terreno: condizione non drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Coes.non dren.	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm ²	%	%					
1,950 E-3	2,000 E-3	0,500	100,000	100,000	60,0	0,500	0,50

Indice / Descrizione terreno: **003 / Argilla dura**

Comportamento del terreno: litoide (roccia)

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Poisson	RQD	C. Ades.
daN/cm ²	daN/cm ²	Gradi°	daN/cm ²	daN/cm ²	%	%	
2,000 E-3	2,100 E-3	35,000	0,300	200,000	0,500	60,0	0,00

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 18 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	---	---

6.6. Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde

Elemento: 126 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1840,0	160,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	126	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 136 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1840,0	960,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	136	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 147 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1840,0	1840,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	147	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 366 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1040,0	160,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	366	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	---	---

Elemento: 376 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1040,0	960,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	376	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 387 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
1040,0	1840,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	387	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 630 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
160,0	160,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	630	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 640 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.						Svin.testa	Vin.piede
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.						codice	codice
160,0	960,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	640	001						0	0; 0; 1
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.			Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm						codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00			0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'													
n.	cm	cm													
1	0,0	0,0													

Elemento: 651 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
160,0	1840,0	100,0	200,0	200,0	0,0	0,00	651	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

Elemento: 677 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
1040,0	960,0	0,0	200,0	200,0	0,0	0,00	677	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
100,0	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

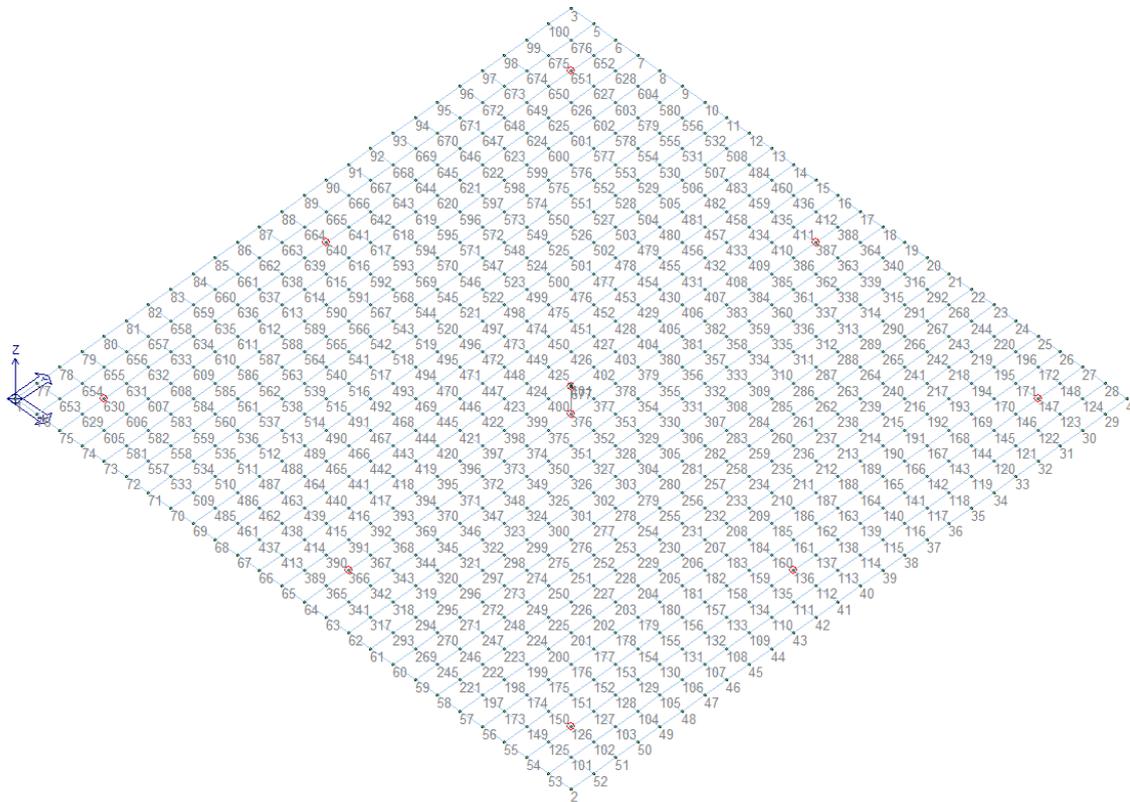


Figura 1 – Modello nodale platea di fondazione

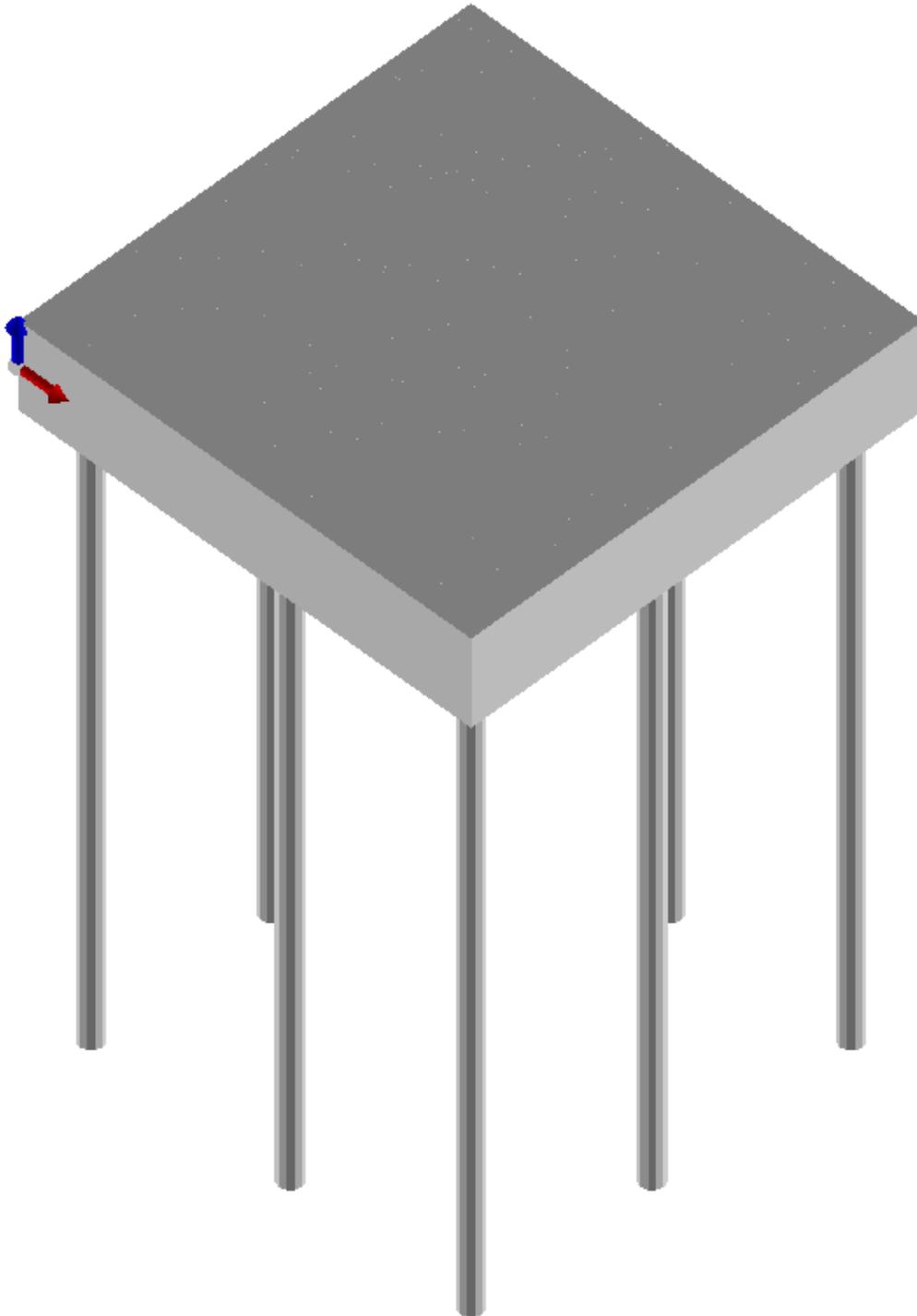


Figura 2 – Modello solido platea con pali di fondazione

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

6.7. Valori di calcolo della portanza per fondazioni profonde

Elemento: 126 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-512900.0	-605884.5	0,847	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-512900.0	515.0	-519.4	-279200.0	-278300.0

Elemento: 136 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-541700.0	-605884.5	0,894	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-541700.0	396.5	-58.7	-90020.0	-229200.0

Elemento: 147 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-542900.0	-605884.5	0,896	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-542900.0	524.9	552.0	160700.0	-281400.0

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

Elemento: 366 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-541700.0	-605884.5	0,894	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-541700.0	54.3	-396.6	-229200.0	-89080.0

Elemento: 376 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-564300.0	-605884.5	0,931	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-564300.0	48.1	-48.3	-86160.0	-86130.0

Elemento: 387 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-571900.0	-605884.5	0,944	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-571900.0	60.7	422.9	107300.0	-90840.0

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

Elemento: 630 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-542900.0	-605884.5	0,896	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-542900.0	-556.5	-520.3	-280500.0	161700.0

Elemento: 640 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-571900.0	-605884.5	0,944	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-571900.0	-423.0	-56.1	-89870.0	107300.0

Elemento: 651 - Palo singolo

$N_q = 7.243$, $\sigma_{punta} = 6.045$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.153$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 968859.9 daN, Port. punta = 388334.4 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-573100.0	-605884.5	0,946	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-573100.0	-554.4	559.0	162700.0	161700.0

Elemento: 677 - Palo singolo

$N_q = 7.317$, $\sigma_{punta} = 5.850$, $\phi = 20.0$, $N_c = 17.355$, $c_{punta} = 0.330$

Port. lat. = 921329.9 daN, Port. punta = 381157.1 daN, P.P.Palo = 58904.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	71	0.000	0.000	-556700.0	-578445.1	0,962	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-556700.0	-65.6	65.5	-50910.0	-50890.0

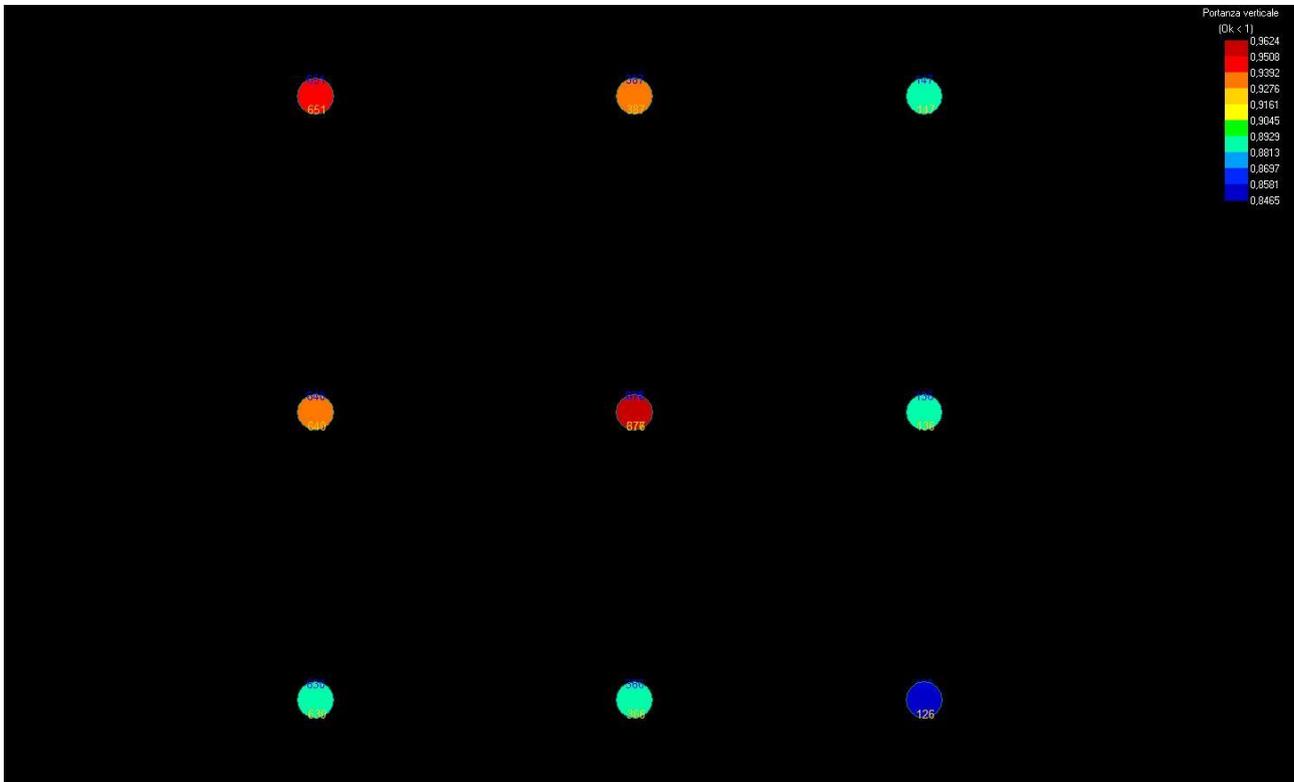


Figura 3 – Portanza massima

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

6.8. Valori di calcolo dei cedimenti per fondazioni profonde

Elemento: 126 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-394600.0	0.072

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-394600.0	396.2	-399.6	-214800.0	-214000.0

Elemento: 136 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-416700.0	0.076

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-416700.0	305.0	-45.1	-69250.0	-176300.0

Elemento: 147 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-417600.0	0.076

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-417600.0	403.8	424.7	123600.0	-216500.0

Elemento: 366 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-416700.0	0.076

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-416700.0	41.7	-305.1	-176300.0	-68530.0

Wind Energy San Martino Srl	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	Nome del file: VWS-CIV-REL-024_01
------------------------------------	--	---

Elemento: 376 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-434100.0	0.079

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-434100.0	37.0	-37.1	-66280.0	-66260.0

Elemento: 387 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-440000.0	0.080

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-440000.0	46.7	325.3	82510.0	-69880.0

Elemento: 630 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-417600.0	0.076

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-417600.0	-428.0	-400.3	-215700.0	124300.0

Elemento: 640 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-440000.0	0.080

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-440000.0	-325.4	-43.2	-69130.0	82540.0

Elemento: 651 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-440800.0	0.080

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-440800.0	-426.5	430.0	125100.0	124400.0

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	RELAZIONE GEOTECNICA	Pagina 28 di 34
---	-----------------------------	-----------------

Elemento: 677 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
068 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-428200.0	0.078

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
068	SLE rare	No	-428200.0	-50.5	50.4	-39160.0	-39140.0

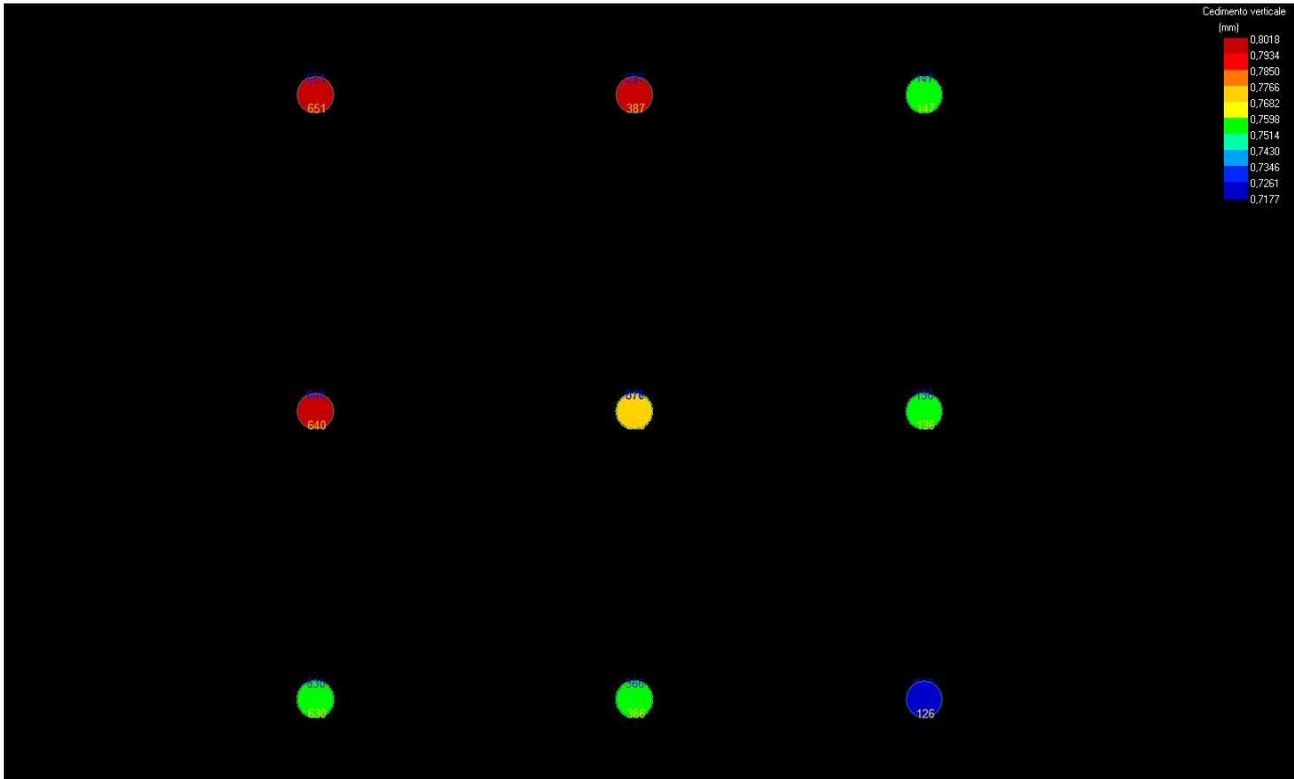


Figura 4 – Cedimenti massimi

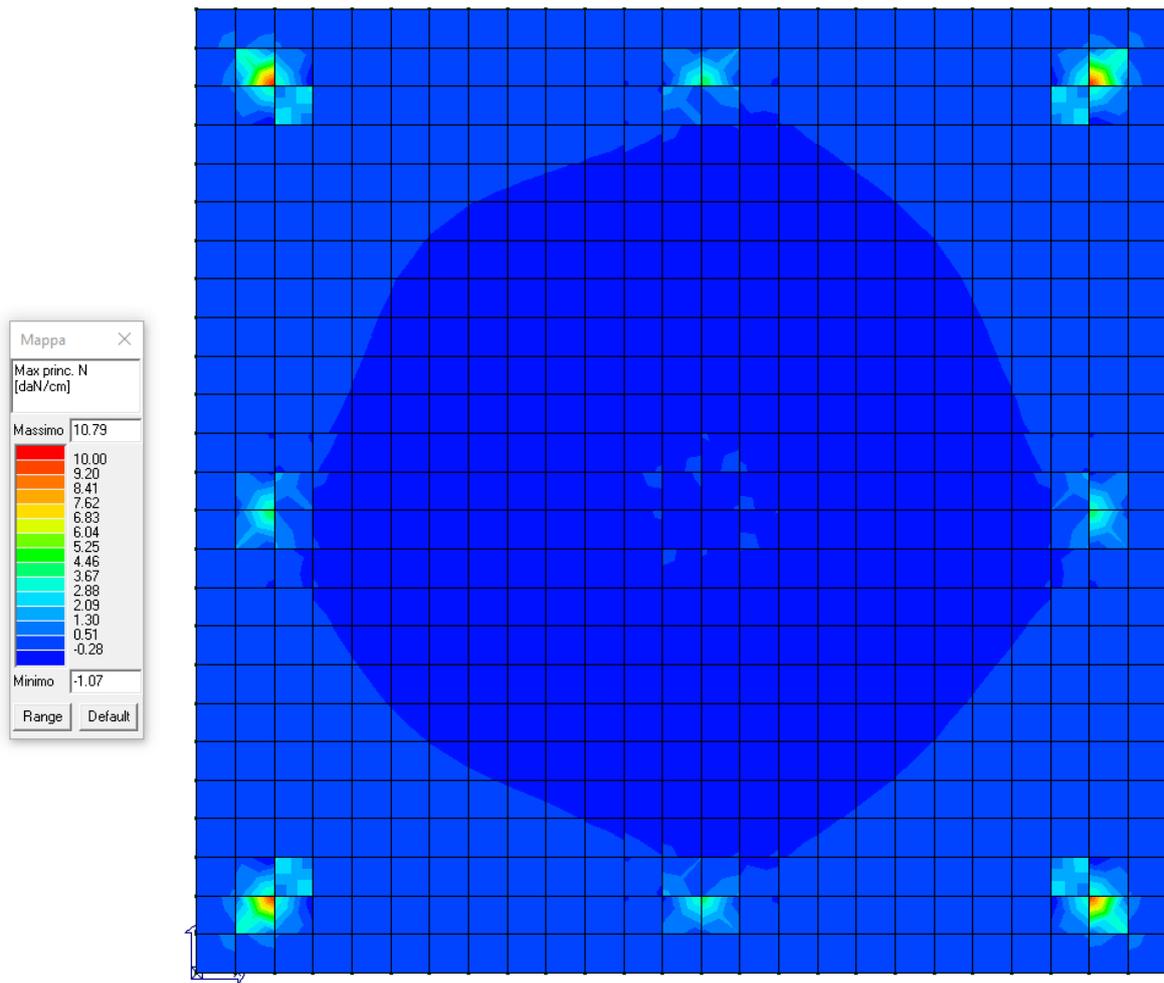


Figura 5 – Von Mises: Max princ. N (daN/cm)

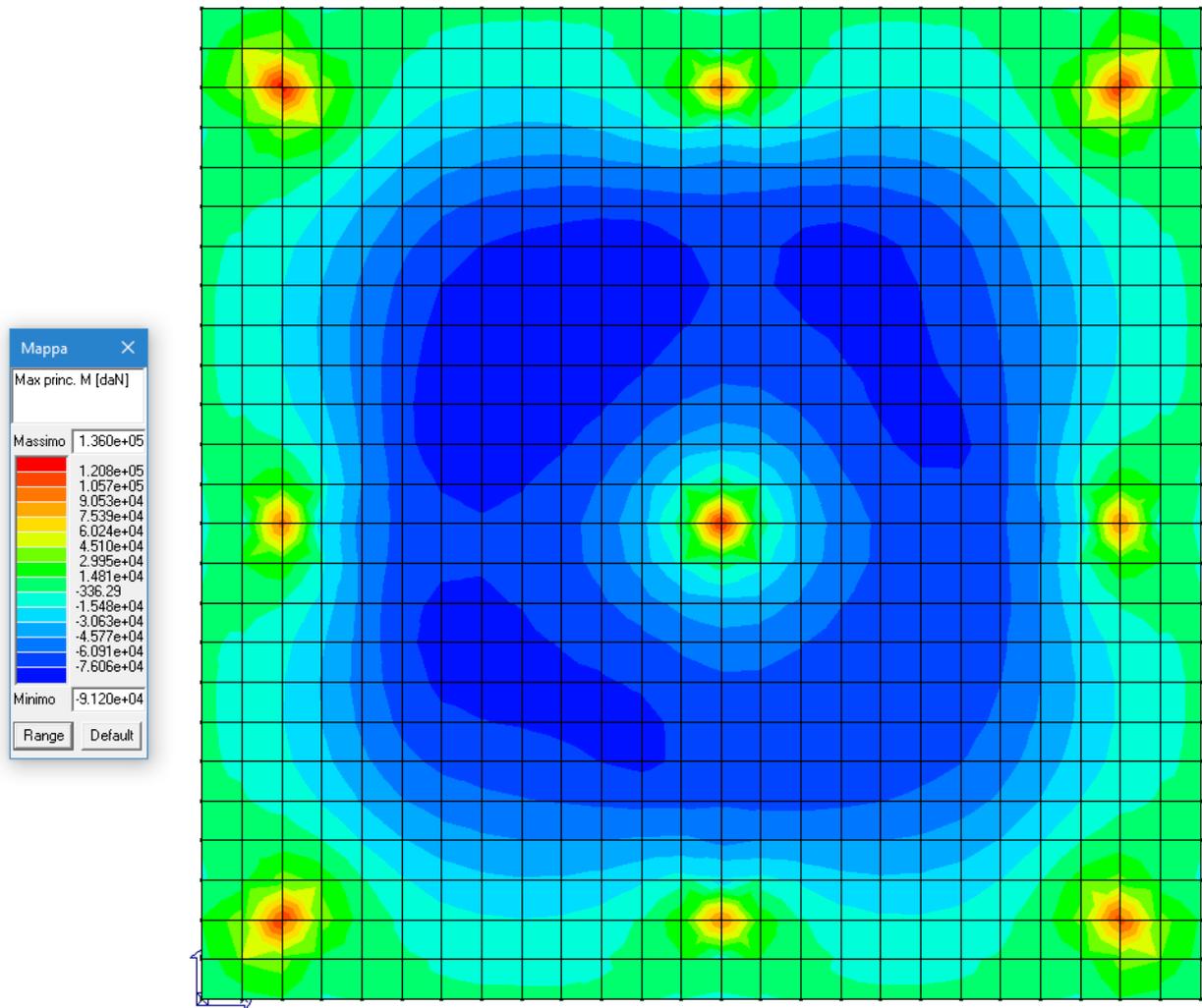


Figura 6 – Von Mises: Max princ. M (daN)

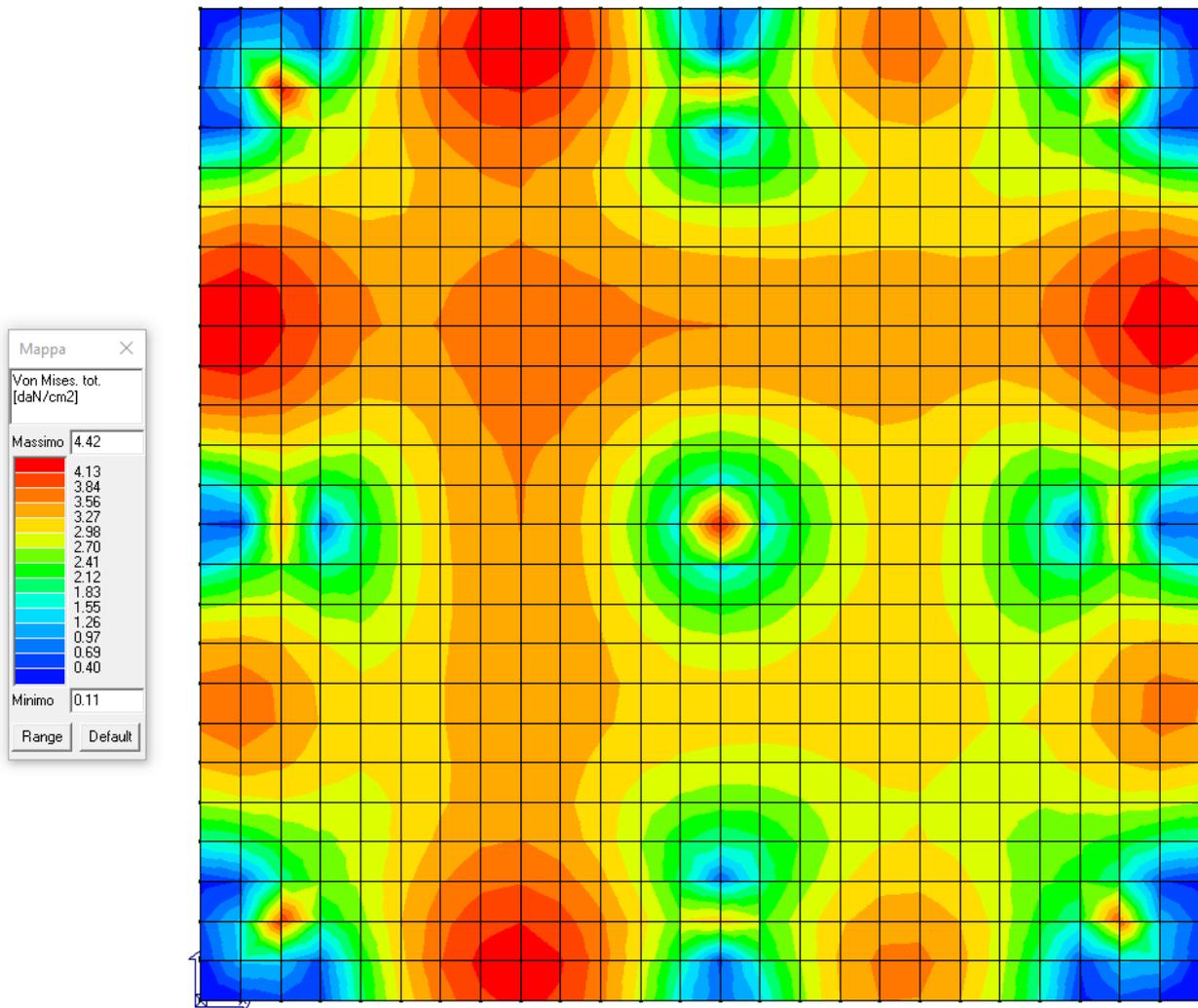
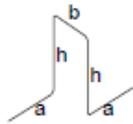


Figura 7 – Von Mises (daN/cm²)

Particolare costruttivo della platea di fondazione

Armatura diffusa lato superiore

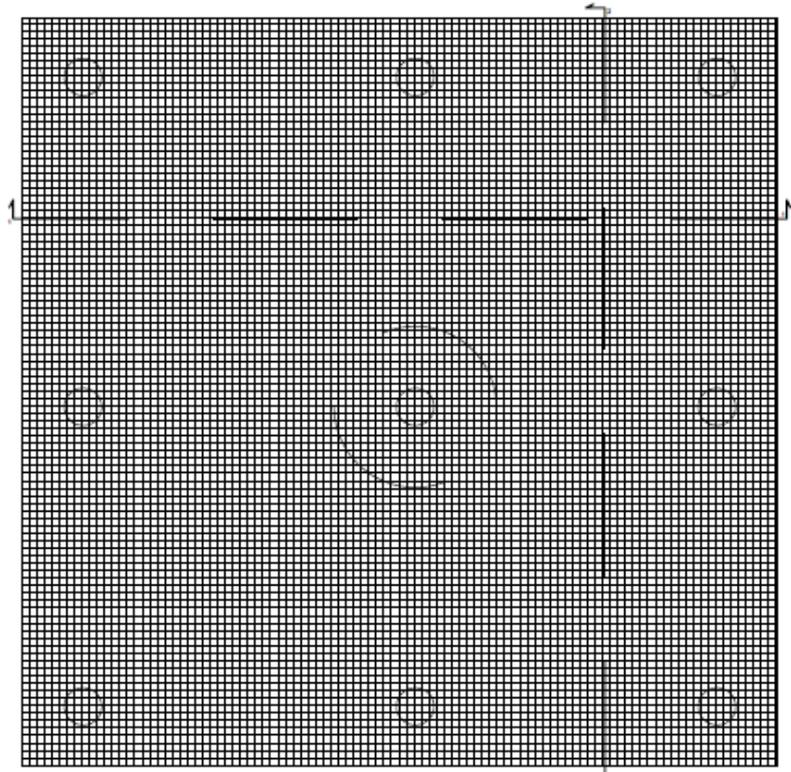
	dir. 1 1Ø 10/20 3.9 cmq/m		dir. 2 1Ø 10/20 3.9 cmq/m
---	---------------------------------	---	---------------------------------



Assonometria cavalletti distanziatori Ø 12
a=24 cm, b=18cm, h=304 cm
4 per mq, (1/50 dir.1, 1/50 dir.2)

Armatura diffusa lato inferiore

	dir. 1 1Ø 10/20 3.9 cmq/m		dir. 2 1Ø 10/20 3.9 cmq/m
---	---------------------------------	---	---------------------------------



Armatura a taglio

Armatura per punzonamento (misure in mm):

$N \times \text{ØD} - L / n$ (d1+d2)

N - numero complessivo di listelli

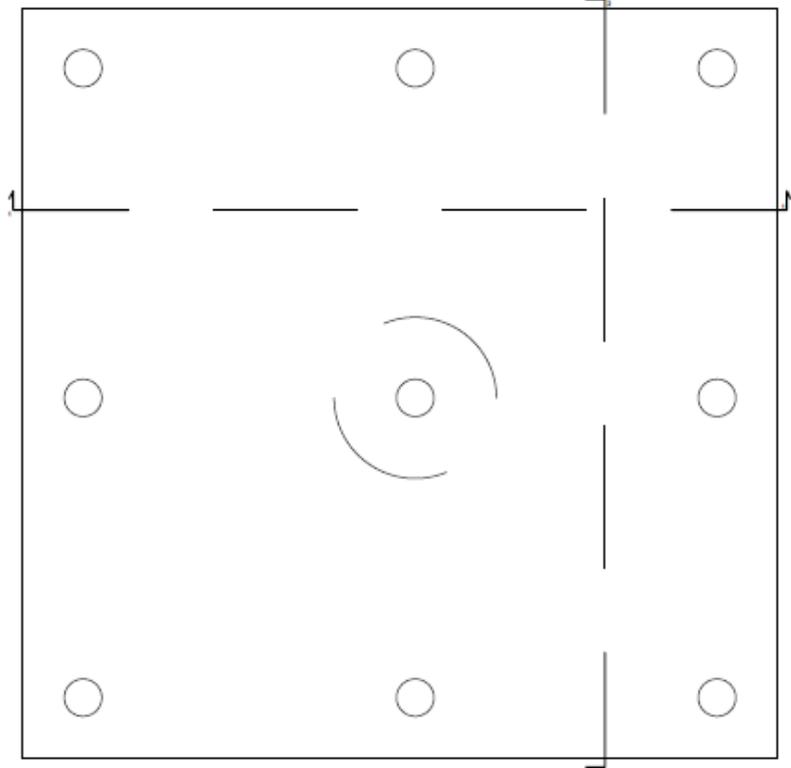
D - diametro dei pioli con testa a martello

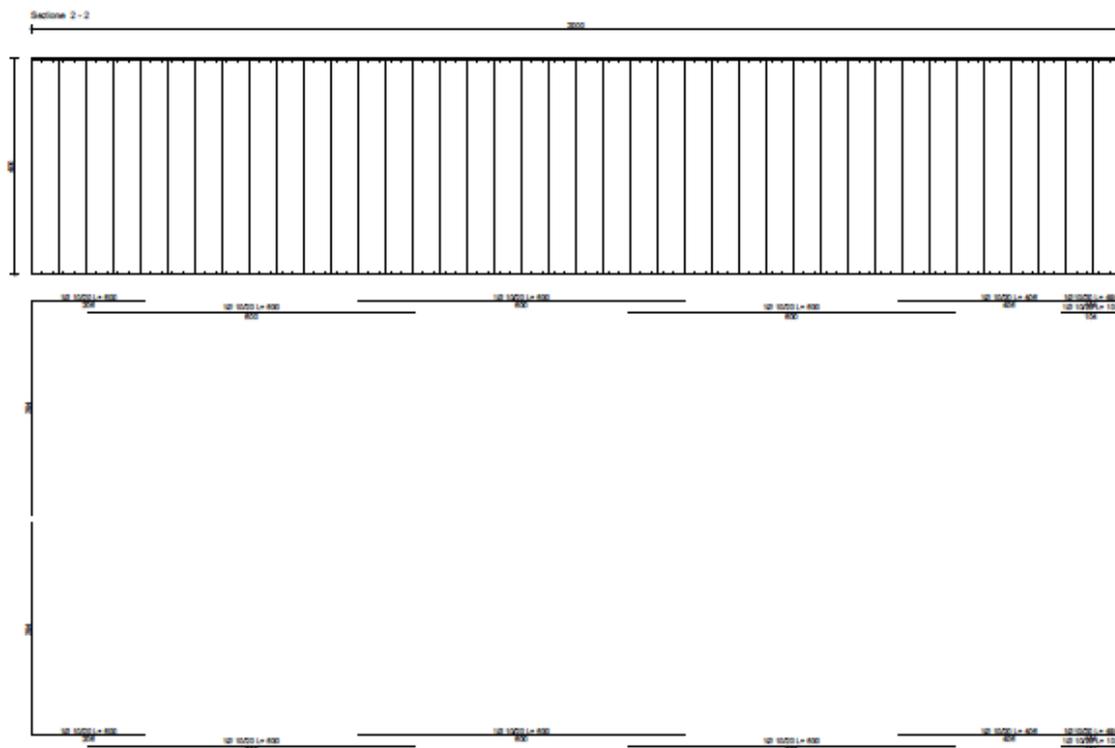
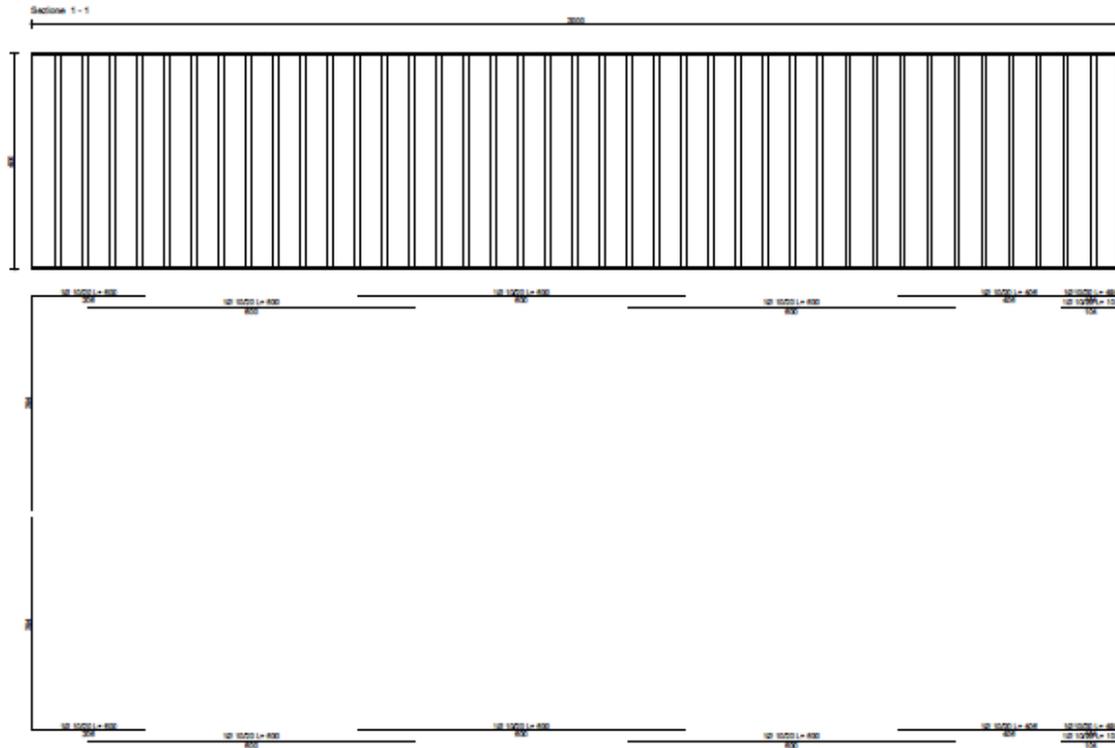
L - lunghezza dei pioli

n - numero dei pioli per listello

d1 - distanza del primo piolo dal bordo pilastro

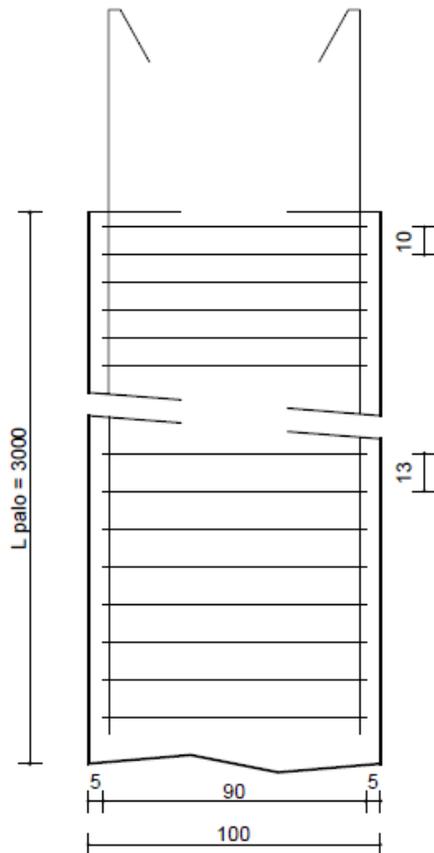
d2 - distanza tra i successivi pioli per numero di pioli rimanenti





Particolare costruttivo del palo di fondazione

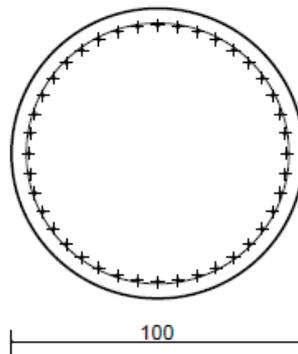
PALO TIPO



Pos.	Num.	D.(mm)	L (cm)	Peso (kg)
1	1	Ø 8	68905	271,9
2	17	Ø 16	3080	826,4
3	23	Ø 16	1088	395,0

Peso acciaio pali = 1493,3 kg

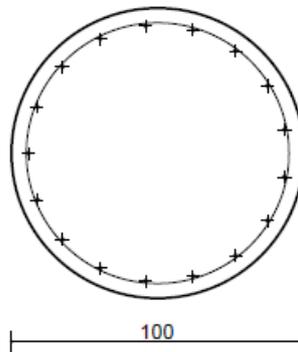
Volume calcestruzzo pali = 23,6 mc



Sezione palo da:

quota 0,0 a quota -1000,0

- ① St. circolari Ø8 / 9.6, L = 331
- ② 17Ø16 L = 3080
- ③ 23Ø16 L = 1090



Sezione palo da:

quota -1000,0 a quota -3000,0

- ① St. circolari Ø8 / 13, L = 331
- ② 17Ø16 L = 3080