

IMPIANTO DI RETE PER LA CONNESSIONE 20 kV

Progetto per la realizzazione di un impianto agro-voltaico per la produzione di energia elettrica con potenza in immissione di 9.900 kW, ubicato in loc. SP147 incrocio SP276, snc, nel Comune di Carpignano S. (LE)

COMUNE DI CARPIGNANO SALENTINO (LE)

Codice di rintracciabilità: 295403830 (T0738605)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo meccanico nuovo sostegno

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	Codice Rintracciabilità	Tipo docum.	N° elaborato	N° foglio	Tot. fogli	NOME FILE	DATA	SCALA
PD	295403830		C.19	1	14		LUGLIO 2022	--

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	20/07/2022	ELABORATI BENESTARE E-DISTRIBUZIONE	AD	EC	GP

PROGETTAZIONE:

NUOVA TUTELA srl

Via Ernesto Simini, 36 - 73100 - Lecce (LE)

Mail: amministrazione.nuovaututela@gmail.com



IL PROGETTISTA:

ing. Eugenio CASCELLI

Ord. Ing. Prov Bari n. 6710
Via Aristosseno, 21 - 70126 - Bari
Tel/Fax: 080 3213649 - Cell.: 338 2661982
e.cascelli@energycube.info

GESTORE RETE ELETTRICA
E-DISTRIBUZIONE S.p.a
INFRASTRUTTURE E RETI ITALIA
AREA ADRIATICA

RICHIEDENTE
URBA - I 130115 srl
Via G. Giuliani, 2 - 20123 Milano (MI)
PEC: urba130115@legalmail.it



1 INDICE

1. GENERALITA' E SCOPO DEL DOCUMENTO	3
2. PREMESSA	3
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
4. CARATTERISTICHE DEL PALO E DELLE FONDAZIONI	4
5. AZIONI DI PROGETTO	6
5.1 Pesi propri strutturali e non strutturali	6
5.2 Azione del vento	6
5.3 Azione della neve e del ghiaccio	8
5.4 Azione della temperatura	8
5.5 Azione di tiro dei cavi	8
6. VERIFICA DEL PALO ALLE AZIONI AGENTI	10
7. VERIFICA DEL PLINTO ALLE AZIONI AGENTI	12

1. GENERALITA' E SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione intende illustrare la verifica meccanica del nuovo sostegno da installare nell'ambito del progetto dell'impianto di rete per la connessione di un parco fotovoltaico con potenza in immissione di 9,9MW, avente i seguenti dati identificativi:

- Codice di rintracciabilità: 295403830.
- Indirizzo: Strada Provincia Incrocio tra SP147 con SP276 in Carpignano Salentino snc
- Codice POD: IT001E752297428;
- Codice presa: 7508229600006;
- Codice fornitura: 752297428;
- Area: Area Adriatica;
- Zona: Lecce-Maglie.

2. PREMESSA

La linea esistente S. Borgogne, nei nodi indicati nel preventivo di connessione è composta da tralicci aventi una altezza di 16 metri. Ad una distanza di 18metri dalla strada identificata al FG12, particella 5 del Comune di Carpignano Salentino, in corrispondenza della linea aerea, si procederà all'installazione di un nuovo sostegno composto palo tubolare poligonale in lamiera zincata a tronchi innestabili di altezza pari a 16 m.

In corrispondenza dell'estremità superiore del palo, all'altezza di 14.50 m fori terra, come da profilo altimetrico allegato, saranno collegati i tre cavi di linea presenti dai quali sarà derivata la nuova linea implementata con l'impianto. I tre cavi saranno sostenuti tramite mensole e morse posizionati alle distanze richieste da norma.

Nella presente relazione si effettua la verifica del palo di progetto alle azioni previste dalle norme attualmente in vigore.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le normative italiane cui si è fatto riferimento per l'analisi del modello e la verifica degli elementi strutturali sono le seguenti:

- D.P.R. 380/2001 e ss.mm.ii.- "Testo unico dell'edilizia";
- D.M. 17/01/2018 - "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (NTC2018);
- Circolare n.7 del 21.01.2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17.01.2018;
- Norma tecnica CEI EN 50341-2-13 per le linee elettriche aeree.

4. CARATTERISTICHE DEL PALO E DELLE FONDAZIONI

Si prevede l'installazione di procederà all'installazione di un nuovo sostegno composto palo tubolare poligonale in lamiera zincata a tronchi innestabili di altezza pari a 16 m.

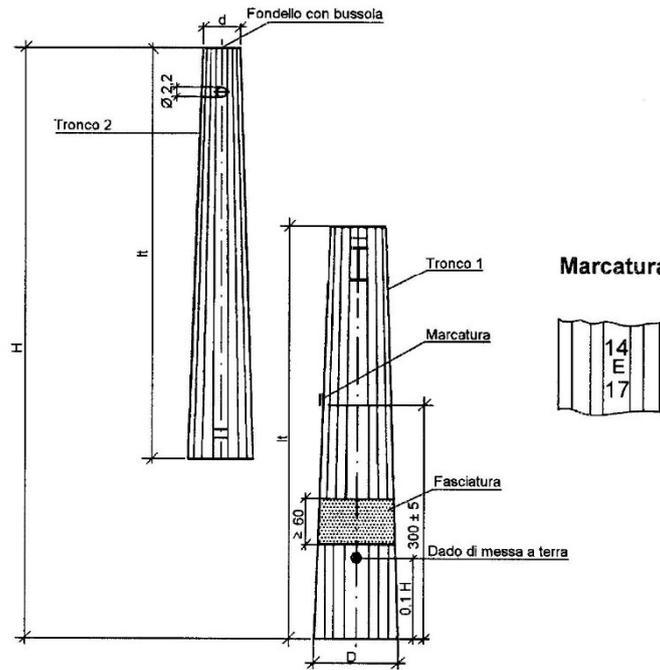
Come riferimento per il dimensionamento del palo si considerano le caratteristiche geometriche e di resistenza previste nelle tabelle della "Sezione G – Standard tecnici realizzativi degli impianti di rete per la connessione AT e MT" di e-Distribuzione – anno 2015.

In particolare si considera il palo della **Tipologia G con codice 16/G/24** avente altezza 16 m, diametro inferiore 0,596 m e superiore 0,24 m e peso 797 kg (781 daN).

La scelta di questo tipo di sostegno dipende dal confronto fra le relative prestazioni (tiri utili) e le azioni esterne (tiro ed azione del vento sui conduttori) esercitate sulla struttura dalla linea nelle varie ipotesi previste dalla norma CEI EN 50341-2-13.

Sostegni in lamiera zincata a sezione poligonale in due tronchi innestabili

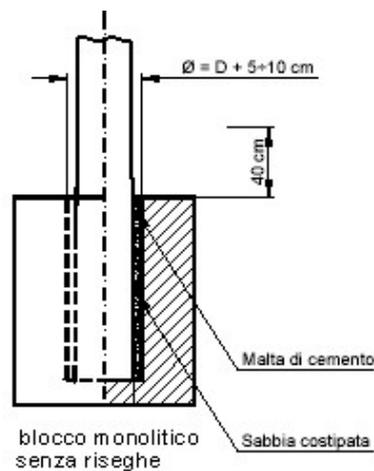
Quote in cm



Palo tipo	Matricola	Sigla H/tipo/d	H [m]	d [cm]	D [cm]	It [cm]	Massa [kg]
D	237344	14/D/14	14	14	36,0	728	323
	237345	16/D/14	16	14	39,5	830	394
E	237354	14/E/17	14	17	41,2	730	428
	237355	16/E/17	16	17	44,8	833	520
F	237364	14/F/17	14	17	47,5	735	478
	237365	16/F/17	16	17	47,9	835	611
	237366	18/F/17	18	17	53,7	938	748
	237367	21/F/17	21	17	61,0	1.090	960
G	237374	14/G/24	14	24	54,5	740	657
	237375	16/G/24	16	24	59,6	843	797
	237376	18/G/24	18	24	60,0	943	990
H	237377	21/G/24	21	24	67,6	1.095	1.208
	237384	14/H/24	14	24	64,0	745	977
	237385	16/H/24	16	24	70,5	848	1.195
	237386	18/H/24	18	24	77,0	950	1.431
	237387	21/H/24	21	24	88,0	1.103	1.845
J	237393	12/J/28	12	28	66,8	648	1.209
	237394	14/J/28	14	28	73,5	750	1.499
	237395	16/J/28	16	28	80,1	853	1.817

INGEGNERIA - UFFICIO ASSISTENZA TECNICA E SICUREZZA

Per ciò che concerne i plinti essi saranno di tipo monolitico in c.a. sui quali si andrà ad innestare la base del palo in acciaio. Il plinto sarà dimensionato per resistere alle massime azioni agenti nei confronti del ribaltamento e della resistenza del terreno sottostante.



5. AZIONI DI PROGETTO

5.1 Pesi propri strutturali e non strutturali

I carichi permanenti da considerare nelle verifiche di resistenza e stabilità sono rappresentati dai pesi propri dei cavi, del palo e del plinto.

5.2 Azione del vento

L'azione del vento è stata calcolata valutando i diversi scenari secondo la quale influisce sull'interezza dell'elemento strutturale.

Il vento esercita una duplice azione sull'elemento in esame:

Un'azione distribuita, agente lungo tutto lo sviluppo verticale del palo, causata dalla pressione esercitata dal vento sulla superficie del palo stesso;

Un'azione concentrata e di tiro in corrispondenza dei punti di attacco dei cavi, risultante di una pressione distribuita sull'intera lunghezza dei cavi.

L'azione del vento è stata valutata secondo quanto previsto dalle norme CEI EN 50341-2-13 e dalle Norme Tecniche delle Costruzioni NTC 2018.

VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' E DELLA PRESSIONE CINETICA DEL VENTO

Si è calcolata la pressione del vento secondo la seguente formula:

$$Q_w = q_b \cdot C_e \cdot G_x \cdot C_x \cdot A$$

con i singoli parametri sotto specificati:

- località Carpignano: Zona 3	($v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$; $a_0 = 500 \text{ m}$; $k_s = 0,37$)
- altitudine del sito a_s	$a_s = 76 \text{ m} < a_0 = 500 \text{ m}$
- velocità caratteristica di riferimento	$v_b = v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$
- pressione cinetica di riferimento	$q_b = 456 \text{ N/m}^2$
- categoria di esposizione	II ($k_r = 0,19$; $z_0 = 0,05 \text{ m}$; $z_{\min} = 4,00 \text{ m}$)
- coefficiente di esposizione a z_{\min}	$C_e (4,00 \text{ m}) = 1.80$
altezza massima dal suolo:	$z_{\max} = 16.00 \text{ m}$
- coeff. di esposizione ($z_{\max} = 10.00 \text{ m}$)	$C_e (16 \text{ m}) = 2.66$
- coefficiente dinamico	$G_x = 1.0$
geometria:	palo a sezione poligonale inestabile cavo a sezione circolare
Coefficiente di pressione aerodinamico	$C_{\text{palo}} = 1,20$ (per sezioni poligonali) $C_{\text{cavo}} = 1,00$ (per elementi tubolari)
Superficie di esposizione al vento per unità di lunghezza lineare	$A_{\text{palo}} = 0,60 - 0,24 \text{ m}^2$ $A_{\text{cavo}} = 0,011 \text{ m}^2$

La velocità di picco del vento agente all'altezza di 16 m si ottiene dalla formula:

$$\text{radq}(C_e) \times V_b = 158,50 \text{ km/h}$$

Si dovrà quindi calcolare la pressione del vento in funzione della tipologia e della sezione dell'elemento sul quale esso va ad incidere.

Per il palo si considera una superficie di esposizione media dato che ha una sezione variabile dal basso, di 0,60 m, fino a restringersi verso l'alto a 0,24m, e si applica per tutta la lunghezza la pressione massima del vento.

$$q_{w,palo} = 46 \text{ daN/mq} \times 2,66 \times 1,00 \times 1,20 \times (0,60+0,24)/2 = 61,66 \text{ daN/ml}$$

Per il singolo cavo collegato di diametro 11 mm si ha:

$$q_{w,cavo} = 46 \text{ daN/mq} \times 2,66 \times 1,00 \times 1,20 \times 0,011 = 1,35 \text{ daN/ml}$$

5.3 Azione della neve e del ghiaccio

Secondo quanto indicato nella CEI EN 50341-2-13 per le province di Brindisi e Lecce e per altezze sul livello del mare inferiori a 600 m si ha uno spessore di ricoprimento per neve e ghiaccio caratteristico pari a:

$$S_k = 0,00 \text{ mm}$$

Pertanto, non si hanno effetti dovuti alla neve e al ghiaccio.

5.4 Azione della temperatura

Secondo quanto indicato nella CEI EN 50341-2-13 le azioni di tiro agenti sui cavi vanno determinate in diverse condizioni di carico e temperatura. Nel nostro caso particolare, considerando che le azioni dovute ai manicotti di neve e ghiaccio non ci sono e che le forze sismiche sono trascurabili essendo la zona a bassa sismicità, si considerano le due condizioni di carico più gravose:

- Condizione media normale (EDS), supposta uguale per tutta l'Italia: temperatura di +15°C senza sovraccarico di neve e vento (stato EDS e cioè "every day stress").
- Condizione ritenute di massima sollecitazione (MSB), nel caso di Carpignano: Zona A (Italia meridionale o ad altitudine inferiore ad 800m s.m.m.); manicotto di ghiaccio non presente, massima azione del vento a 159Km/h e bassa temperatura di -7°C (stato MSB)

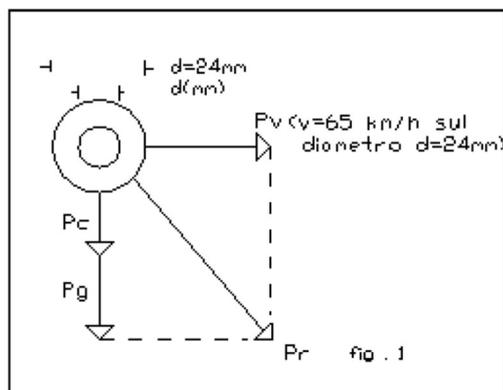
5.5 Azione di tiro dei cavi

Le condizioni di stabilità dei conduttori devono pertanto essere verificate per la zona A in base alla sollecitazione risultante P_r che si ottiene componendo il peso proprio del conduttore P_c aumentato del peso proprio P_g di un manicotto di ghiaccio (che nel nostro caso non si considera), con la pressione P_v esercitata su tale manicotto (del diametro $d + 0\text{mm}$) da un vento di 158,5 km/h.

Nella figura sottoriportata è rappresentato graficamente come si determina la risultante P_r e il peso proprio e di sovraccarichi sui conduttori per la zona A, con:

- P_c - peso proprio per metro lineare del conduttore
- P_g – peso proprio per metro lineare di un manicotto di ghiaccio

- P_v – pressione per metro lineare esercitata dal vento.



Dopo aver valutato i singoli carichi sopra indicati, si calcola il peso apparente risultante per metro lineare di conduttore ponendo:

$$P_r = \sqrt{(P_c + P_g)^2 + P_v^2}$$

In base al peso apparente risultante così determinato si procede al calcolo della sollecitazione a trazione che esso determina nel conduttore e quindi sul palo.

Nel nostro caso per il singolo cavo si ha:

- $P_c = 0,19\text{ daN/m}$
- $P_g = 0\text{ daN/m}$
- $P_v = 1,35\text{ daN/m}$

Il peso apparente del singolo cavo nella condizione più sfavorevole in presenza di vento (MSB) è quindi pari a:

$$P_{r,\text{cavo}} = 1,36\text{ daN/m}$$

Per valutare il tiro orizzontale agente sul palo per il singolo cavo si considera la formula:

$$T = qL^2/8f$$

Dove:

T = azione di tiro orizzontale sul palo per il singolo cavo

q = P_r carico apparente del cavo

L = distanza tra i pali

f = freccia del cavo

6. VERIFICA DEL PALO ALLE AZIONI AGENTI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni previste dalle NTC 2018:

- Combinazione fondamentale, impiegata ai fini della verifica allo stato limite ultimo (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

- G1 rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G2 rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Qk1 rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile dominante di ogni combinazione;
- Qki rappresenta il valore caratteristico della -esima azione variabile;
- gG1, gG2, gQi rappresentano i coefficienti parziali di sicurezza, che si assumono dalla Tabella 2.6.I della NTC 2018.

Per il palo è stata effettuata la verifica a flessione (STR), ritenuta la più significativa.

Per quanto riguarda la verifica del plinto di fondazioni, sono state effettuate le seguenti verifiche:

- Verifica a ribaltamento (EQU);
- Verifica a scorrimento (GEO);
- Verifica di capacità portante del terreno (GEO).

Nelle verifiche strutturali, le azioni del terreno sono state moltiplicate per i coefficienti parziali di sicurezza STR. Per la verifica a ribaltamento, il momento ribaltante e quello stabilizzante sono stati calcolati sulla base dei carichi agenti, moltiplicati per i coefficienti di tipo EQU. Le verifiche a scorrimento e di capacità portante (verifiche di tipo geotecnico) sono state condotte secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

N.B. il coefficiente parziale di sicurezza indicato nella CEI EN 50341-2-13 per il carico massimo del vento è pari a: $\gamma_{Qw} = 1$

AZIONI DI TIRO SUL NUOVO PALO

Il palo sarà del tipo di linea, inserito tra due tralicci esistenti ed andrà ad intercettare la linea esistente senza determinare una disconnessione dei cavi esistenti che pertanto risulteranno passanti in corrispondenza di esso.

In questa situazione le forze di tiro agenti a destra e a sinistra del palo tra le due campate presenti tra il palo e i tralicci esistenti si andranno ad auto equilibrare ottenendo sui due rami delle frecce di abbassamento legate tra loro dalla presente relazione:

$$T_{sx} = Pr L_{sx}^2 / 8f_{sx} = T_{dx} = Pr L_{dx}^2 / 8f_{dx}$$

Da cui si ottiene che le due frecce dovranno essere tra loro legate dalla presente relazione:

$$f_{sx} / f_{dx} = L_{dx}^2 / L_{sx}^2$$

Pertanto considerando per la campata più lunga una freccia a 15° pari a:

$$f_{sx} = 2.93 \text{ m}$$

per avere l'equilibrio delle due forze di tiro si ha nella campata più corta la freccia a 15° sarà pari a:

$$f_{dx} = 2.93 \times 21.502 / 146,202 = 0.06 \text{ m}$$

Per la verifica del palo, escludendo quindi le azioni di tiro longitudinali dei conduttori, occorrerà procedere alla verifica in senso trasversale dovute alle azioni massime del vento agenti sui conduttori e sul palo nella condizione più sfavorevole MSB.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE ORIZZONTALE CONCENTRATA DEL VENTO SULLA SOMMITÀ DEL PALO

Dal profilo palano altimetrico si ricava che le campate di cavi a destra e a sinistra del palo sono di lunghezza:

$$L_{sx} = 146,20 \text{ m}$$

$$L_{dx} = 21,50 \text{ m}$$

Pertanto la lunghezza di competenza di ogni cavo che si collega al palo è pari a :

$$L_{cavi} = (146,20 + 21,50) / 2 = 84 \text{ m}$$

Considerando che il palo sosterrà 3 cavi all'altezza media di 14m dal suolo, si ha che la forza concentrata complessiva spingente sul palo applicata in corrispondenza delle mensole di sostegno dei cavi dovuta al vento agente sui cavi è quindi pari a:

$$Q_{w,cavi} = 3 \times 1,34 \text{ daN/m} \times 84 \text{ m} = 338 \text{ daN (condizione massimo vento)}$$

Dalla tabella G-5 delle specifiche ENEL 2015 dove sono indicati i tiri utili dei pali nelle varie tipologie si ha che il tiro utile possibile sulla tipologia di palo scelta (Tipologia G - 16/G/24) è pari a:

PALO (tipo)	Prestazioni utili nette Tu^5 in daN (kg)	
	Ipotesi di calcolo (art. 2.4.05 bis - DM 21.03.88 (CEI 11-4))	
	T I	T III
A	133 (136)	157 (160)
B	184 (188)	211 (215)
C	287 (293)	319 (325)
D	382 (389)	425 (433)
E	593 (604)	642 (654)
F	805 (821)	859 (876)
G	1236 (1260)	1297 (1322)
H	2350 (2396)	2484 (2532)
J	4405 (4490)	4472 (4559)

$Tu = 1226 \text{ daN} > 338 \text{ daN}$ verificato

7. VERIFICA DEL PLINTO ALLE AZIONI AGENTI

Per il plinto in c.a. si considera un plinto a forma parallelepipedica a base quadrata di lato 2,20 m e altezza di 1,50 m.

VERIFICA A RIBALTAMENTO DEL PALO

Si effettua la verifica del plinto di fondazione alle massime azioni agenti sul palo.

L'azione ribaltante è dovuta alla forza di spinta agente all'altezza dei punti di attacco dei cavi:

Azione di spinta dovuta al vento sui cavi

$Q_{w,cavi} = 338 \text{ daN}$

Altezza di applicazione
= 16,00 m

$H_{cavi} = 14,50 \text{ m} + 1.50 \text{ m (h plinto)}$

A tale azione si aggiunge l'azione del vento agente direttamente sul palo.

La spinta del vento dovuta all'azione di esso sul palo è pari a:

Azione di spinta dovuta al vento sul palo
 $m = 987 \text{ daN}$

$Q_{w,palo} = 61,66 \text{ daN/m} \times 16$

Altezza di applicazione
= 9,50 m

$H_{palo} = 8,00 \text{ m} + 1.50 \text{ m (h plinto)}$

Combinando le due azioni orizzontali dovute al vento e applicando il coefficiente parziale di sicurezza indicato nella CEI EN 50341-2-13 pari a 1 si ottiene il momento ribaltante alla base del plinto:

$$M_{w,ED} = (1 \times 338 \times 16,00) + (1 \times 987 \times 9,50) = 14785 \text{ daNm}$$

A tale azione ribaltante si oppone il momento stabilizzante dato dai carichi dovuti alle forze peso agenti in asse con il palo:

Peso del palo $P_{palo} = 781 \text{ daN}$

Peso dei cavi collegati al palo $P_{cavi} = 3 \times (146,2 + 21,5) / 2 \times 0,19 = 47,8 \text{ daN}$

Peso del plinto $P_{plinto} = 2500 \text{ daN/mc} \times (2,20 \times 2,20 \times 1,5 - 3,14 \times 0,602 / 4 \times 1,20) = 17302 \text{ daN}$

Pertanto il momento stabilizzante rispetto ad uno dei quattro lati del plinto, considerando il fattore parziale di sicurezza per le azioni permanenti favorevoli nelle condizioni di equilibrio pari a $\gamma_{G1} = 0,9$, è dato da:

$$M_{rd} = 0,9 \times (781 + 47,8 + 17302) \times 1,10 \text{ m} = 15572 \text{ daNm}$$

$$M_{w,ED} = 14785 \text{ daNm} < M_{rd} = 15572 \text{ daNm}$$

Pertanto, il plinto considerato risulta sufficientemente dimensionato al ribaltamento del palo.



axpo