

IMPIANTO DI RETE PER LA CONNESSIONE ALLA TENSIONE DI 20 kV PER UNA POTENZA IN IMMISSIONE DI 5999 KW

**REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CABINA DI CONSEGNA
COLLEGATA IN ANTENNA DA CABINA PRIMARIA AT/MT "ROSETO"
PER IMPIANTO FOTOVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI ATRI (TE)
64032 IN LOC STRACCA**

PROGETTO DEFINITIVO

DENOMINAZIONE ELABORATO:

RELAZIONE TECNICA LINEA AEREA PALIFICATA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progettazione	Cod. Rintracciabilità	Tipo docum.	N° elaborato	N° foglio	Tot. fogli	NOME FILE	DATA	SCALA
PD	221461413		0B			0B.Relazione linea aerea.pdf	Gennaio 20	--

REVISIONI

REV	REV	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
01	01	Aggiornamento normativa calcolo linea aerea	24/01/2020	24/01/2020	24/01/2020

Progettazione

SOLENA Srl

Via Faldella,68-13044 Crescentino (VC)

PIVA 02462090024. Tel. 3318162045

Ing. Giorgio Salvatore Loccisano

Ord. Ing. Reggio Calabria N. 1656



Gestore Rete Elettrica

e-distribuzione

Infrastrutture e Reti Italia

Macro Area Territoriale Centro

Distribuzione Territoriale

Rete Lazio Abruzzo Molise

Richiedente

NextEnergy Capital Italia S.r.l.

Milano (MI) Via Orefici n° 2, CAP 20123

Partita IVA 09562920968

PEC: nextenergycapitalitalia-srl@legalmail.it

1. Oggetto e scopo.....	2
1.1 Normativa di riferimento.....	2
1.2 Inquadramento normativo dell'intervento.....	2
2. Calcolo delle parti strutturali.....	2
2.1 Individuazione del modello di calcolo	2
2.1.1 Descrizione generale dell'opera.....	2
2.1.2 Analisi dei requisiti da rispettare.	3
2.2 Schematizzazione e modellazione della struttura e dei vincoli.....	4
2.2.1 Schematizzazione e modellazione della struttura e dei vincoli.....	4
2.2.2 Modello strutturale.....	4
2.3 Schematizzazione e modellazione delle azioni.	9
2.4 Modalità di presentazione.	17
2.4.3 Dati in ingresso.	17
2.4.4 Risultati.	17
3. Conclusione sui calcoli eseguiti	18

1. Oggetto e scopo.

L'e-Distribuzione S.p.A. - Divisione Infrastrutture e Reti, Macro Area Territoriale Centro, Sviluppo Rete Area Adriatica, deve provvedere alla costruzione di una linea MT aerea da realizzarsi nell'ambito del progetto di connessione alla rete MT di e-distribuzione per Cessione Totale per l'impianto di produzione da fonte Solare per una potenza in immissione richiesta di 5999 kW sito in Località Stracca, SNC – Atri (TE).

Scopo della presente relazione è il dimensionamento strutturale dei pali di sostegno della linea aerea (sostenuta da nr. 2 pali su una luce di circa 380 m).

1.1 Normativa di riferimento.

I sono stati eseguiti nel rispetto dell'Unificazione Nazionale EDISTRIBUZIONE, delle Norme CEI pertinenti per impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo, CEI EN 50341 (linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata). I calcoli dovranno altresì rispettare le seguenti normative tecniche:

- D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare nr. 7 del 21 gennaio 2019;

1.2 Inquadramento normativo dell'intervento.

L'intervento di cui alla presente relazione si qualifica come nuova costruzione ai sensi del D.M. 17/01/2018.

2. Calcolo delle parti strutturali

2.1 Individuazione del modello di calcolo

2.1.1 Descrizione generale dell'opera.

L'intervento di che trattasi riguarda nr. 2 pali di sostegno per linea aerea in MT. La luce di calcolo tra i due pali (assimilabile alla distanza tra i due baricentri dei pali) è pari a circa 380 m. Nell'immagine seguente è rappresentato, se pur schematicamente, lo scenario geometrico di calcolo delle opere di cui alla presente relazione:

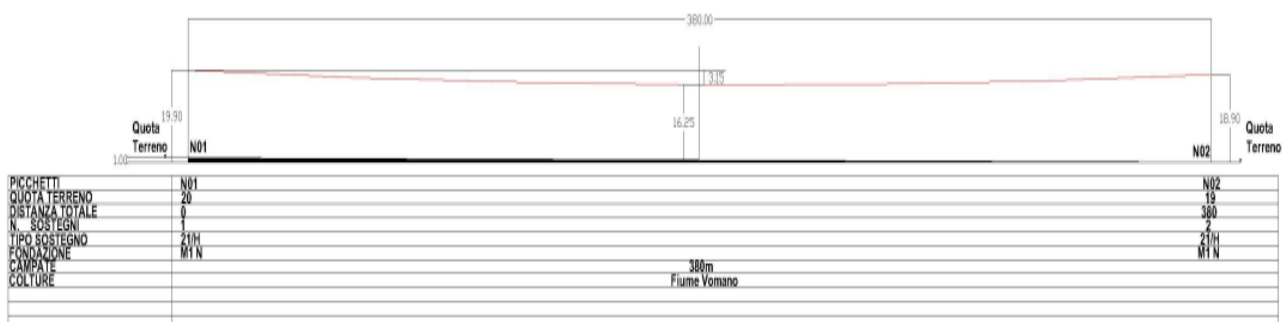


Figura 1: Scenario geometrico di calcolo

Lo scenario rappresentato nella precedente figura è uno scenario preliminare ipotizzato. Le dimensioni caratteristiche effettive (quali freccia al centro, altezza dei pali, ecc.) saranno determinate in funzione dei calcoli effettuati.

2.1.2 Analisi dei requisiti da rispettare.

Con riferimento alle normative prese come base per il calcolo, e comunque con riferimento agli scenari di utilizzo dell'opera, i requisiti da rispettare afferiscono alle due famiglie di criteri seguenti:

1. Stati limite ultimi (SLU): Tale famiglia di criteri è finalizzata ad accertare che le parti strutturali (singolarmente e nel complesso) siano capaci di garantire la resistenza strutturale dell'opera senza crolli e/o collassi. Rientrano tra i criteri di cui sopra:
 - a. Verifiche di resistenza per il cavo portante;
 - b. Verifiche di resistenza strutturale per il palo/traliccio;
 - c. Verifiche di resistenza geotecnica per il palo/traliccio;
2. Stati limite di esercizio (SLE): Tale famiglia di criteri è finalizzata ad accertare che nell'esercizio delle linee elettriche aeree siano rispettate le seguenti condizioni:
 - a. *Condizioni di tutti i giorni (EDS) per il tiro dei conduttori:* La norma CEI 11-4 prescrive che il tiro nel conduttore non debba mai eccedere il 25% del tiro di rottura del conduttore indicato con T_{RTS} (tiro di rottura nominale del conduttore). Nel caso di specie il sistema conduttore è portato dal cavo portante che assorbe tutte le necessarie azioni;
 - b. *Condizioni di verifica delle distanze elettriche di isolamento:* E' necessario verificare che la distanza tra i conduttori e le parti di terra sia contenuta entro certi limiti. In generale tale condizione di verifica si esprime nella maniera seguente:
 - i. $D_{eld} \leq D_{ell}$dove D_{eld} è la distanza elettrica di progetto e D_{ell} è la distanza elettrica limite. Nel caso di specie lungo il tracciato aereo non vi è la corrispondente presenza di conduttori a terra. Tale condizione non sarà presa in considerazione;
 - c. *Condizioni di verifica dei franchi (distanze di rispetto per i conduttori):* E' necessario verificare che la distanza tra le opere attraversate ed i conduttori sia contenuta entro certi limiti. In generale tale condizione di verifica si esprime nella maniera seguente:
 - i. $D_d \leq D_{ell}$

Con riferimento alle condizioni di verifica dei franchi e delle distanze si fa utile riferimento al seguente schema:

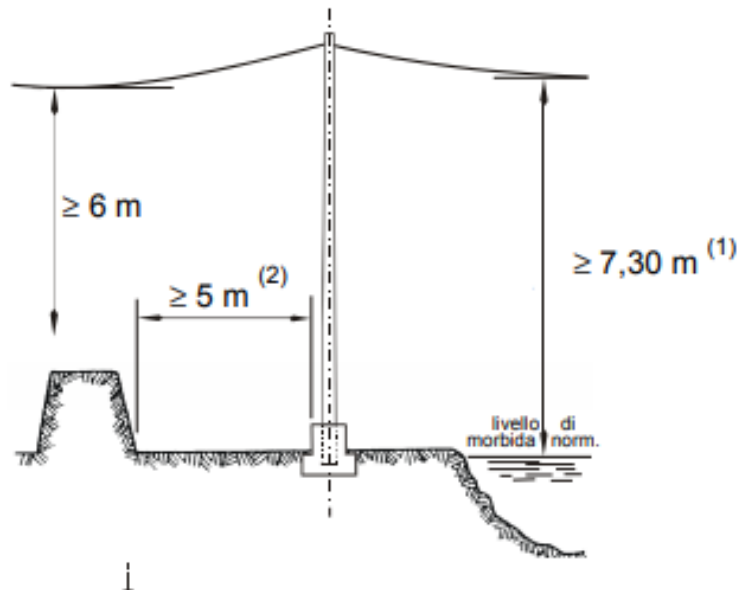


Figura 2: Schema di riferimento per il mantenimento delle distanze da terreno ed acque non navigabili

2.2 Schematizzazione e modellazione della struttura e dei vincoli.

2.2.1 Schematizzazione e modellazione della struttura e dei vincoli.

Ai fini del calcolo ogni palo di sostegno è stato schematizzato come elemento a mensola, ad asse verticale, incastrato alla base. Il cavo è invece analizzato separatamente come cavo flessibile incernierato-appoggiato assoggettato ad una forza di equilibratura H . Nella seguente immagine è riportato lo schema di calcolo utilizzato:

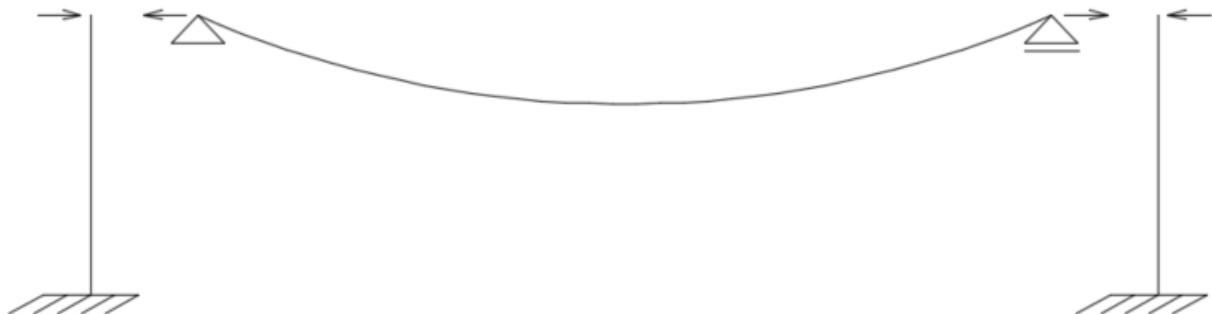


Figura 3: Schematizzazione strutturale

Come noto la freccia di un cavo flessibile è dipendente dal tiro applicato. In sostanza il cavo è trattato come una fune che soggetta ad un tiro di estremità modifica il suo stato deformativo. Il dimensionamento dell'opera avverrà individuando, tra gli altri parametri, il tiro H che consente di avere una freccia utile al centro della campata.

2.2.2 Modello strutturale.

Il modello strutturale utilizzato è differenziato per i pali di sostegno e per la fune. Per i pali di sostegno si utilizza, in via preliminare, un modello di trave incastrata alla base con sollecitazioni derivanti dalle sole condizioni di equilibrio. Il modello è abbastanza semplice da risolvere e non richiede pertanto particolari prescrizioni e/o delucidazioni. Per quanto riguarda il cavo invece il

modello di calcolo utilizzato è il modello della fune. I fili, le funi, le catene a maglie piccole e in genere tutti gli organi flessibili di una certa lunghezza, fissati ai due estremi, sono soggetti al proprio peso, oltre ad eventuali sovraccarichi, e assumono una configurazione di equilibrio tale che ogni sezione è sollecitata a trazione; lo stesso avviene se, in aggiunta al peso proprio, sono presenti anche carichi esterni concentrati o ripartiti su tutta la loro lunghezza. La configurazione di equilibrio assunta dalla fune comporta una certa freccia, dipendente dall'entità del peso per unità di lunghezza q (e da eventuali sovraccarichi) della fune e dalla forza di trazione esercitata nella fase di montaggio. Possono verificarsi due casi distinti, secondo il valore della freccia di inflessione f :

- la freccia f è molto piccola rispetto alla distanza l esistente fra i due punti estremi di attacco: in questo caso, per la modesta inclinazione della fune, il suo peso q per unità di lunghezza si può ritenere applicato sulla proiezione orizzontale con notevole facilità di calcolo;
- la freccia è notevole rispetto alla distanza l fra i due punti di attacco, per cui l'approssimazione suddetta non è più valida e il calcolo risulta più complesso.

Si faccia riferimento al seguente modello:

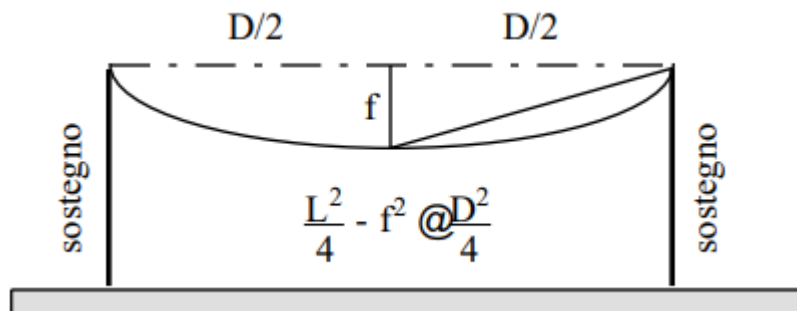


Figura 4:Modello di riferimento per le funi

Si ha che:

$$H = qd \cdot L^2 / (8 \cdot f)$$

Dove qd è il carico di calcolo uniformemente distribuito, L è la distanza tra i due pali ed f è la freccia (abbassamento rispetto alla congiungente la testa tra i due pali). Come si evince la precedente mette in relazione la componente orizzontale del tiro sulla testa del palo con la freccia f . Per abbassare la freccia f è necessario incrementare il valore del tiro.

Il modello matematico descritto in precedenza rappresenterà la base per il calcolo strutturale (e quindi il dimensionamento) dei pali di sostegno.

Per quanto concerne il modello matematico che governa il cambiamento di stato della fune si ha quanto segue.

$$\frac{1}{24} \left[\left(\frac{p' a}{T_M'} \right)^2 - \left(\frac{p a}{T_M} \right)^2 \right] - \frac{1}{ES} (T_M' - T_M) - \alpha (\theta' - \theta) = 0$$

nella quale:

T_M' = tiro medio incognito nella condizione finale o derivata (kg)

T_M = tiro medio noto nella condizione iniziale o base (kg)

P' = carico risultante per unità di lunghezza nella condizione finale (kg/m)

P = carico risultante per unità di lunghezza nella condizione iniziale (kg/m)

E = modulo di elasticità (kg/mm²)

S = sezione del conduttore (mm²)

a = lunghezza della campata (m)

α = coefficiente di dilatazione termica lineare (1/°C)

θ' = temperatura nella condizione finale (°C)

θ = temperatura nella condizione iniziale (°C)

Il modello matematico descritto in precedenza mette in relazione il tiro medio incognito in una fase finale caratterizzata da: un carico risultante diverso e noto, una temperatura finale diversa e nota.

2.2.2.1 *Modellazione della struttura.*

Il modello della struttura è rappresentato dalle variabili seguenti:

1. L : luce della corda (distanza in proiezione orizzontale tra i due pali) pari a 380 m;
2. $H1$: Quota, rispetto ad una quota di riferimento, del primo estremo della fune.;
3. $H2$: Quota, rispetto ad una quota di riferimento, del primo estremo della fune.;
4. f : Freccia al centro.

La sezione trasversale dei sostegni (nonché la tipologia) sarà dimensionata in funzione del tiro nella fune. La sezione trasversale della fune è composta da un **cavo unificato Enel, Tabella DC 4390, avente matricola 332265** e formazione 3 x 150 + 50 Y avente diametro circoscritto nominale pari a 69 mm con peso proprio pari a 3100 kgf/km. Nella seguente tabella è riportato il cavo utilizzato.

PROSPETTO I - Caratteristiche dei cavi

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Matricola	Tipo	Formazione (n x mm ²)	Diametro circostritto nominale Dc (mm)	Massa Nominale (Kg/Km)	Portata (1) (A)	Corrente nominale termica di corto circuito (2)		
						Conduttore (kA)	Schermo (kA)	Schermi e funi (kA)
33 22 62	DC 4390/1	3x35+50Y	54	1600	140	4,6	1,9	8,8
33 22 63	DC 4390/4	3x50+50Y	56	1800	170	6,5	2,0	9,0
33 22 64	DC 4390/2	3x95+50Y	63	2400	255	12,5	2,2	9,5
33 22 65	DC 4390/3	3x150+50Y	69	3100	340	19,5	2,5	10,5
33 25 10	DC 4390/5	3x35+50Y	57	1730	140	4,6	1,9	8,8
33 25 12	DC 4390/6	3x50+50Y	59	1930	170	6,5	2,0	9,0
33 25 14	DC 4390/7	3x95+50Y	66	2530	255	12,5	2,2	9,5
33 25 16	DC 4390/8	3x150+50Y	72	3230	340	19,5	2,5	10,5

(1) I valori di portata valgono in regime permanente per i cavi in aria leggermente mossa (2 km/h) esposti al sole posati singolarmente, temperatura di riferimento ambiente 40° C, temperatura di riferimento dei conduttori 90° C.

(2) I valori della corrente nominale termica di corto circuito valgono nelle seguenti condizioni : durata del corto circuito 0,5s temperatura iniziale e finale dei conduttori 90° C e 250° C, degli schermi 75° C e 150° C e della fune portante 60° C e 150° C.

Figura 5: Cavo utilizzato**2.2.2.2 Materiali.**

I materiali, ai fini del calcolo delle sollecitazioni, sono considerati omogenei ed isotropi e sono definiti dalle seguenti caratteristiche: peso per unità di volume, modulo elastico, coefficiente di Poisson, coefficiente di dilatazione, e tutte le caratteristiche meccaniche, riepilogate in precedenza, utili alle verifiche strutturali dettate dalla normativa. Le caratteristiche meccaniche del cavo utilizzato sono le seguenti:



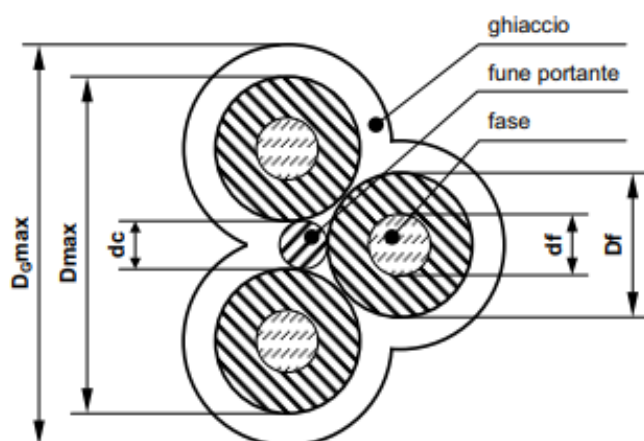
Linee in cavo aereo MT

Tavola

TESATURA DEI CAVI
DATI CARATTERISTICI DEI CAVI CORDATI
SU FUNE PORTANTE

T1.1

Ed. 1 Giugno 2003



Formazione	[n x mm ²]	3x35+1x50	3x50+1x50	3x95+1x50	3x150+1x50
Fase					
Diametro conduttore (df)	[mm]	7,1	8,1	11,4	14,2
Diametro isolante (Df)	[mm]	25,2	26,1	29,7	32,7
Fune portante					
Diametro (dc)	[mm]	9,0			
Carico rottura		60,96			
Modulo elastico		155,0			
Coefficiente di dilatazione		13x10 ⁻⁶			
Fascio					
Diametro (Dmax)	[mm]	59,3	61,4	67,8	73,3
Diametro con ghiaccio (Dgmax)	[mm]	75,3	77,4	83,8	89,3
Peso	[kg/m]	2,100	2,300	3,000	3,700
Spinta vento 100 km/h	[kg/m]	2,525	2,615	2,888	3,122
Carico risultante Zona A	[kg/m]	3,284	3,483	4,164	4,841
Peso ghiaccio	[kg/m]	1,516	1,576	1,762	1,924
Carico verticale	[kg/m]	3,616	3,876	4,762	5,624
Spinta vento 50 km/h	[kg/m]	0,802	0,824	0,892	0,951
Carico risultante Zona B	[kg/m]	3,703	3,963	4,845	5,704

Figura 6: Caratteristiche del cavo

2.3 Schematizzazione e modellazione delle azioni.

Ai fini del calcolo, in coerenza con le normative prese come riferimento per il calcolo stesso, sono state prese in conto le seguenti tipologie di azioni:

- Pesi propri degli elementi strutturali;
- Pesi propri degli elementi non strutturali;
- Sovraccarico dovuto al vento;
- Sovraccarico dovuto al ghiaccio o alla neve;
- Azione sismica;
- Azione dovuta alla temperatura.

2.3.2.1 Condizioni di carico adottate.

Le condizioni di carico adottate ai fini del calcolo di cui al presente documento sono rappresentate nella seguente tabella:

#	Nome	Tipo ¹	Note
1	G1	Carico permanente strutturale	Calcolato automaticamente dal software in funzione della geometria e della massa specifica
2	G2	Carico permanente non strutturale	Rientrano in questi i pesi portati di copertura ed eventuali tamponature oltre che eventuali tramezzi esistenti
3	Q1	Carico verticale dovuto al vento	Carico dovuto al vento
4	Q2	Sovraccarico verticale dovuto ghiaccio ed alla neve	Dipendente dal sito
5	E	Azione sismica	Dipendente dal sito

2.3.2.2 Combinazioni di carico e combinazioni di calcolo adottate.

La norma CEI 11-4 prescrive che le verifiche sismiche siano effettuate considerando concomitanti soltanto i carichi verticali trasmessi dai conduttori e dalle funi di guardia calcolati, nelle zone dove è prevista la formazione di manicotti di ghiaccio o neve, con i sovraccarichi corrispondenti ad un periodo di ritorno di 3 anni. Nelle zone ove non è prevista la formazione di ghiaccio o neve la temperatura si assume pari a -7°C, mentre nelle zone ove è prevista la formazione di ghiaccio o neve, la temperatura si assume pari a -20°C in assenza di ghiaccio o neve e di -2°C in presenza di ghiaccio o neve. Nel caso di sostegni con fondazioni a piedini separati è prescritta anche la verifica della struttura sovrastante considerando concomitante uno spostamento orizzontale differenziale dei piedini, da valutare caso per caso; utili indicazioni si trovano negli Eurocodici. Il coefficiente parziale dei carichi si assume unitario.

¹ Per la definizione della tipologia di azione fare riferimento al paragrafo 2.5.1.3 del d.m. 17 gennaio 2018.

Le principali ipotesi di carico previste dalla suddetta norma sono le seguenti:

Ipotesi di carico	Coefficiente parziale dei carichi	Condizioni
1a	1,00	Massima spinta del vento
1b		Spinta del vento alla temperatura minima
2a	1,00	Carichi uniformi di ghiaccio su tutte le campate
2b		Carichi uniformi di ghiaccio, flessione trasversale
2c		Carichi asimmetrici di ghiaccio, flessione longitudinale
2d		Carichi asimmetrici di ghiaccio, flessione e torsione
3	1,00	Carichi combinati di vento e di ghiaccio
4	1,50	Carichi di costruzione e manutenzione
5a	1,00	Carichi di sicurezza, rottura conduttori
5b		Carichi di sicurezza, carichi sismici

Figura 7:Estratto delle ipotesi di carico

2.3.2.3 Modellazione delle azioni.

Le azioni definite nel paragrafo precedente (Schematizzazione delle azioni) sono applicate sulle varie parti dell'opera per mezzo di azioni concentrate e/o distribuite commisurate all'entità dei carichi cui si riferiscono. In linea generale, essendo il calcolo eseguito su elementi monodimensionali contenuti in un piano (XZ o YZ a seconda dei casi di analisi) i carichi vengono riportati all'unità di lunghezza. I carichi uniformemente distribuiti sull'unità di superficie vengono riportati a carichi distribuiti sull'unità di lunghezza moltiplicandoli per le pertinenti larghezze di influenza. Per quanto riguarda gli sbalzi i carichi distribuiti sull'unità di superficie e di lunghezza (es. parapetto) sono riportati a sforzi taglianti e momenti torcenti.

2.3.2.3.1 Carichi G1 – Pesì propri strutturali.

I carichi derivanti dall'applicazione dei pesi propri strutturali vengono determinati in funzione della massa specifica dei materiali. Ai fini del calcolo dei pesi propri strutturali sono state effettuate le seguenti scelte:

- Massa specifica del calcestruzzo: 2500 kg/mc
- Massa specifica dell'acciaio: 7850 kg/mc

CARICHI G1-Cavo			
#	Denominazione carico	Valore	Note
1	Massa del cavo	3,10	Kgf/m. Massa specifica rispetto all'unità di lunghezza del cavo utilizzato
TOTALE		3,10	Kgf/m

Tabella 1: Calcolo del carico dovuto al peso proprio strutturale del cavo

2.3.2.3.2 Q1-Sovraccarico dovuto al vento

L'azione dovuta al vento è determinata secondo il D.M. 17/01/2018. L'azione del vento è determinata con riferimento al paragrafo 3.3 delle NTC2018. E' stata considerata come pseudostatica sulla struttura. Si è quindi determinato un insieme di distribuzioni di pressioni da applicare alla struttura. La pressione normale del vento su una costruzione è calcolata con la seguente formula:

$$P = q_r c_e c_p c_d \quad [3.3.4]$$

dove:

q_r è la pressione cinetica di riferimento;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_p è il coefficiente di pressione;

c_d è il coefficiente dinamico.

La pressione tangenziale del vento su una costruzione è calcolata con la seguente formula:

$$P_f = q_r c_e c_f \quad [3.3.5]$$

dove:

q_r è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;

c_f è il coefficiente d'attrito di cui al § 3.3.8.

La pressione cinetica di riferimento è determinata con la seguente formula:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad [3.3.6]$$

dove:

v_r è la velocità di riferimento del vento di cui al § 3.3.2;

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

Esprimendo ρ in kg/m³ e v_r in m/s, q_r risulta espresso in N/m².

Il coefficiente di esposizione è determinato con la seguente formula:

$$\begin{aligned} c_e(z) &= k_t^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] & \text{per } z \geq z_{\min} \\ c_e(z) &= c_e(z_{\min}) & \text{per } z < z_{\min} \end{aligned} \quad [3.3.7]$$

dove:

$k_t, z_0, z_{\min}$ sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	K_t	z_0 [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Figura 8: Parametri per coefficiente di esposizione

Il coefficiente di topografia è posto generalmente pari ad 1. La categoria di esposizione è assegnata nella Fig.3.3.2 delle NTC2018 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno, definita in tab. 3.3.III. Nelle fasce entro 40 km dalla costa, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito:

Tab. 3.3.III - *Classi di rugosità del terreno*

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa);
Classe di rugosità del terreno	Descrizione
	b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa)
	c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

Figura 9: Classi di rugosità

Nel caso in esame la zona di vento è la 3 mentre la classe di rugosità assegnata è la C essendo la zona all'interno di un'area urbana che però non è riconducibile alle classi A,B o D.

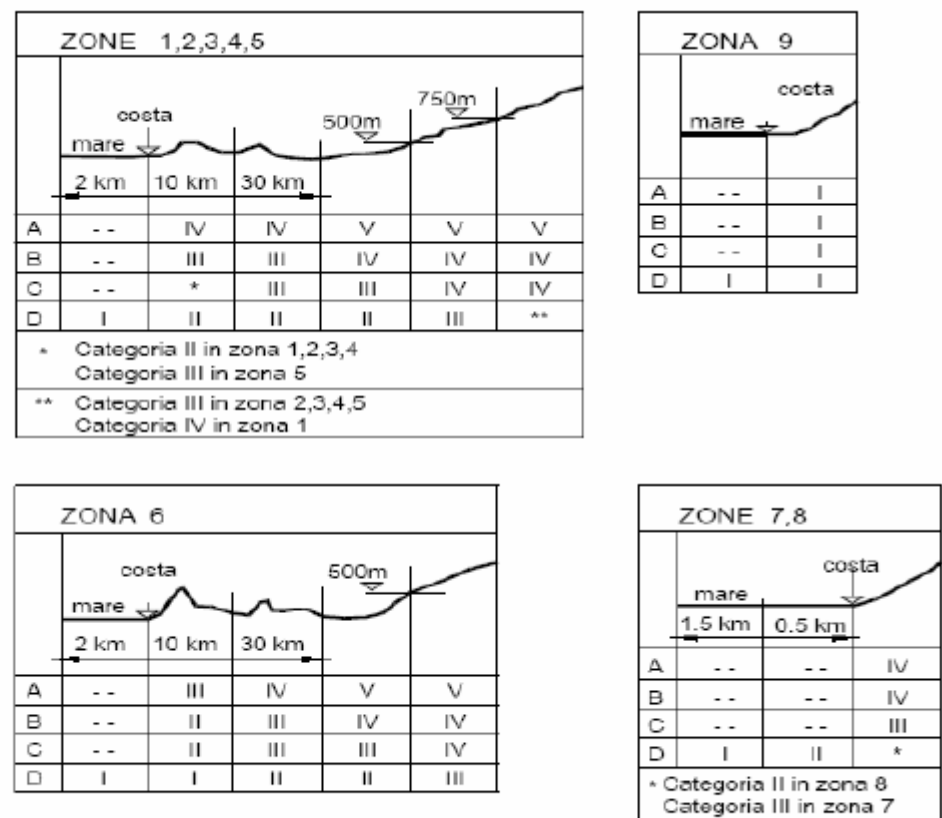


Fig. 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

Figura 10: Categorie di esposizione

Il sito in esame dista circa 4500 m dalla costa (quindi circa 4,5 km). Con riferimento alla zona 3 ed alla distanza di circa 4,5 km si ha che la categoria di esposizione per il sito in esame è la II.

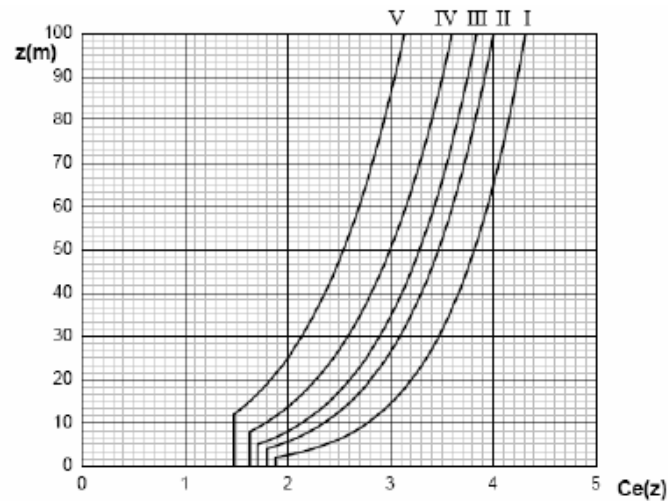


Fig. 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione c_e in funzione dell'altezza sul suolo (per $c_t = 1$)

Figura 11: Coefficiente C_e in funzione di z

Il coefficiente di pressione c_p dipende dalla tipologia e forma di costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione di azione del vento. Il coefficiente c_f dipende dalla scabrezza della superficie investita dal vento. Il coefficiente c_d è posto cautelativamente pari ad 1. Il calcolo della velocità di riferimento avviene secondo quanto riportato in 3.3.2 delle NTC 2018. La velocità di riferimento è determinata con la seguente relazione:

$$v_r = v_b \cdot c_r \quad [3.3.2]$$

Dove:

v_b è la velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1;

c_r è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R .

In mancanza di specifiche indicazioni il coefficiente di ritorno è calcolato con la seguente espressione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad [3.3.3]$$

La velocità base di riferimento si calcola invece con la seguente espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a \quad [3.3.1]$$

Dove:

$v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

Con:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \quad [3.3.1.b]$$

Per il caso in esame i calcoli danno luogo ai seguenti risultati (per quanto attiene la determinazione della pressione cinetica di riferimento):

1.1 Dati generali

Norma [-]=NTC 2008;

Zona [-]=3;

a_s [m]=20;

T_R [anni]=3;

Significato dei simboli:

Norma [-]: Norma da utilizzare per il calcolo

Zona [-]: Zona di vento

a_s [m]: Altitudine sul livello del mare

T_R [anni]: Tempo di ritorno per il quale determinare l'azione del vento

1.2 Dati rugosità

Classe di rugosità terreno [-]=C (Aree con ostacoli diffusi);

Distanza costa [km]=4.5;

Significato dei simboli:

Classe di rugosità terreno [-]: Classe di rugosità del terreno

Distanza costa [km]: Distanza dalla costa (se minore di zero indica area in mare)

2.1 Coefficienti di riferimento

v_r [m/s]=23.088;

v_b [m/s]=27;

$v_{b,0}$ [m/s]=27;

c_r [-]=0.85;

Significato dei simboli:

v_r [m/s]: Velocità di riferimento del vento

v_b [m/s]: Velocità base di riferimento per la zona

v_{b0} [m/s]: Velocità base di riferimento al livello del mare per la zona

c_r [-]: Coefficiente di ritorno

2.2 Coefficiente di esposizione

k_r [-]=0.19;

z_0 [m]=0.05;

z_{min} [m]=4;

Significato dei simboli:

k_r [-]: Coefficiente di cui alla tabella 3.3.II delle NTC2018 o delle NTC2008

z_0 [m]: Coefficiente di cui alla tabella 3.3.II delle NTC2018 o delle NTC2008

z_{min} [m]: Coefficiente di cui alla tabella 3.3.II delle NTC2018 o delle NTC2008

2.3 Pressioni calcolate

q_r [daN/mq]=33.30;

Significato dei simboli:

q_r [daN/mq]: Pressione cinetica di riferimento

$c_e = 2.81$

$P_n = 93,582$ daN/mq.

Significato dei simboli:

c_e [-]: Coefficiente di esposizione utilizzato per l'area in esame

P_n [daN/mq]: Pressione normale

Si evidenzia che il calcolo è stato eseguito per un tempo di ritorno pari a 5 anni. La determinazione dell'azione scaricata sul cavo è stata determinata considerando un coefficiente dinamico riduttivo pari a 1,00 (a vantaggio di sicurezza) ed un coefficiente di resistenza aerodinamica anch'esso pari a 1,00 (a vantaggio di sicurezza). L'azione dovuta al vento sul cavo è considerata come uniformemente distribuita. Per quanto concerne l'azione del vento sui pali la stessa è stata considerata uniforme con la quota z e di valore pari a 93,582 daN/mq (a vantaggio di statica). Per i pali è stato considerato un coefficiente di pressione c_p pari a 2,20 (valido per elementi strutturali con sezione circolare). Ai fini della determinazione del carico dovuto al vento si opera nella seguente maniera:

1. Si individua il diametro equivalente del cavo (diametro sul quale si riterrà applicata la pressione del vento). Nel caso di specie tale diametro è stato stimato in 70 mm;
2. Si riporta la pressione del vento a carico per unità di lunghezza.

CARICHI Q2-Carico dovuto al vento			
#	Denominazione carico	Valore	Note
1	Sovraccarico	6,55	
TOTALE		6,55	Kgf/m

Tabella 2: Calcolo del carico verticale dovuto al vento

2.3.2.3.3 Q2-Sovraccarico dovuto al ghiaccio ed alla neve

Il carico dovuto al ghiaccio ed alla neve è stato determinato attraverso la definizione di un manicotto ideale di ghiaccio, che avvolge il cavo, avente un dato spessore caratteristico. Ricadendo l'area di interesse all'interno della regione Abruzzo la determinazione dello spessore caratteristico s_k del manicotto di ghiaccio avviene mediante la seguente formula:

$s_k = 24 \text{ mm}$ (essendo $a_s \leq 600 \text{ m}$)

con densità della neve e/o ghiaccio pari a 500 kg/mc . Il contributo di carico ghiaccio si determina considerando che il diametro interno del manicotto di ghiaccio sia pari a 70 mm

CARICHI Q3-Carico dovuto al ghiaccio			
#	Denominazione carico	Valore	Note
1	Sovraccarico	1,54	Calcolo sezione manicotto: $3.14 \cdot 94 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} / 4 - 3.14 \cdot 70 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm} / 4 = 3089,76 \text{ mm}^2$. Calcolo peso manicotto $1,54488 \text{ kgf/mq}$.
TOTALE		1,54	Kgf/m

Tabella 3: Calcolo del carico verticale dovuto al ghiaccio

2.3.2.3.4 Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono state definite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale (cap. 3.2 NTC 2018).

La pericolosità sismica è definita come l’accelerazione massima attesa a_g su campo libero con superficie topografica orizzontale, di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(t)$ ad essa corrispondente; per definire le forme spettrali e, quindi, calcolare l’azione sismica sono stati individuati 3 coefficienti dagli allegati A e B della normativa di riferimento, funzione del luogo geografico di progettazione:

- a_g accelerazione massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nel caso specifico si è fatto riferimento ai parametri forniti dall’analisi di risposta sismica locale riportati nella relazione sulla pericolosità sismica di base allegata al progetto e riassunti nella seguente tabella:

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.051	2.432	0.278
Danno (SLD)	50	0.065	2.434	0.296
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.170	2.425	0.345
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.223	2.447	0.351
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Figura 12: Parametri sismici di base

Ai fini della determinazione degli spettri di progetto si è fatto riferimento ad un suolo di categoria C e ad un sito di categoria topografica T1.

2.4 Modalità di presentazione.

2.4.3 Dati in ingresso.

I dati in ingresso alla procedura di calcolo sono i seguenti:

1. L: Luce della fune (distanza tra i baricentri tra i due pali). Nella fattispecie la luce è pari a 380 m.
2. Hs: Altezza dei sostegni. L'altezza dei sostegni sarà pari a 7,30 m (franco di sicurezza) alla quale si aggiungerà la freccia determinata

2.4.4 Risultati.

Si riportano di seguito i calcoli eseguiti, con relativa determinazione della freccia di calcolo e del tiro di calcolo.

DATI		
$q=$	0.12 KN/m	Carico uniformemente distribuito
$\gamma=$	1.0	Coefficiente parziale per le azioni
$l=$	380.00 m	Corda di calcolo
$f=$	12.00 m	Freccia di calcolo
$f_{y,d}=$	1800 N/mm ²	Tensione massima di progetto acciaio del cavo
$A_{\phi}=$	50 mm ²	Area sezione di un filo
RISULTATI		
$n=$	0.031578947	$n=f/l < 1/8=0.125$
$H=$	95 KN	Componente orizzontale della tensione S
$V=$	11,20 KN	Componente verticale della tensione S
$S=$	96 KN	Tensione nella fune
$A=$	53,33 mm ²	Area minima necessaria
$n_c=$	2	Numero cavi (si approssima per eccesso)
$L=$	381.01 m	Lunghezza deformata della fune
$\Delta L_0=$	3.32 m	Allungamento subito per effetto dei carichi dalla fune
$L_0=$	377.69 m	Lunghezza iniziale della fune

La tabella precedente riporta i calcoli eseguiti per la combinazione di calcolo dimensionante (e quindi quella che prevede le condizioni più impegnative per la struttura).

3. Conclusione sui calcoli eseguiti

I calcoli eseguiti evidenziano quanto segue:

1. La freccia che dovrà avere il cavo è pari a 12 m;
2. Il tiro trasmesso dal cavo alla testa del palo è pari a 95 kN = 95000 N circa pari a 9500 kgf.
3. L'altezza minima che dovranno avere i sostegni è pari a 7,30 m + 12 m + 8 m = 26,30. Tale altezza deriva dalla somma tra franco di sicurezza rispetto a filo acqua, la freccia del cavo ed un ulteriore margine di sicurezza legato alla possibilità che il fiume, in condizioni di piena, incrementi sensibilmente la quota del pelo libero dell'acqua.
4. Si rende necessario disporre nr. 2 cavi portanti in quanto solo agli stessi è assegnata la funzione portante.

Sarà necessario predisporre un palo in acciaio S275 del diametro esterno stimato pari a 1000 mm e spessore pari a 60 mm. Il tiro eccede il tiro massimo sopportabile dai pali predisposti nei documenti di unificazione disponibili. Il dimensionamento approfondito del palo e/o del traliccio, e dei mezzi di connessione alla struttura di fondazione, sarà effettuato in fase di progettazione esecutiva tenendo conto del tiro massimo calcolato in 95 kN (componente orizzontale). Non è presente nei documenti di unificazione e-distribuzione, allo stato attuale un palo/traliccio capace di assorbire il tiro in ingresso.

Per quanto non specificato si rimanda al progetto esecutivo che sarà oggetto di successivo studio.

La verifica della correttezza della scelta può essere effettuata confrontando il tiro trasmesso dal palo. La fondazione è predimensionata partendo dall'ipotesi che la stessa abbia pianta quadrata ed altezza pari a 2,40 m (come da specifica costruttiva di unificazione per questa tipologia di palo). Il lato della fondazione è dimensionato partendo dalla condizione di verifica per ribaltamento:

$$M_s/M_r \geq 1$$

Dove M_s è il momento stabilizzante ed M_r è il momento ribaltante. Il momento ribaltante è noto ed è pari a 21000 kgf*27 m = 567000 kgf*m. Per verifica M_s dovrà essere pari ad almeno 567000 kgf*m. Al fine di avere un margine di sicurezza di almeno il 25% si dimensionerà una fondazione capace di garantire un momento stabilizzante pari ad almeno 708750 kgf*m. La relazione di dimensionamento è quindi la seguente:

$$(a^3 \cdot 2500 \text{ kg/mc}) \cdot (a/2) = 708750 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Nella precedente relazione a è il lato della base quadrata della fondazione, Si ha pertanto che:

$1,20 \text{ m} \cdot 2500 \text{ kg/mc} \cdot a^3 = 708750 \text{ kgf} \cdot \text{m} \rightarrow a = (708750 \text{ kgf} \cdot \text{m} / 1,20 \text{ m} / 2500 \text{ kg/mc})^{(1/3)} = 6,18 \text{ m}$.
Sarà pertanto necessario realizzare una fondazione a base quadrata di lato pari a 6,20 m ed altezza pari a 2,40 m.