

Regione Basilicata

Provincia di Potenza

Comune di Armento



Relazione Preliminare delle Strutture ARM_A.7

Art.27 bis del d.Lgs 152/2006

Committente

SOUTH ITALY SUN

Strada comunale delle Fonticelle snc – Capannone 3
65015 – Montesilvano (PE)
tel. + 39 0874 67618 - fax + 39 0874 1862021
P. Iva e C.F. 02237490681

Realizzazione ed esercizio di un impianto fotovoltaico a terra
della potenza di 18,50 MWp e delle opere di connessione
Comune di Armento (PZ),
località Itlei, snc.

D
E
S
I
G
N



S
T
U
D
I
O

Ingegneria | Architettura | Topografia

Ing. Carmine Antonio SPERANZA

Ing. Quirino VASSALLI



R.S.V. Design Studio S.r.l.
Piazza Carmine 5/a
84077 - Torre Orsaia (SA)
P. IVA : 05885970656
PEC : rsv.sd@pec.it

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. DATI GENERALI DEL PROGETTO.....	2
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
3.1. <i>CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI</i>	6
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	10
5. MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO	11
• <i>ACCIAIO</i>	11
5.1. <i>PROTEZIONE DALLA CORROSIONE</i>	13
6. CARICHI.....	13
6.1. <i>PESO PROPRIO G1</i>	14
6.2. <i>SOVRACCARICHI PERMANENTI G2</i>	14
6.3. <i>VENTO</i>	14
6.4. <i>AZIONI DI CALCOLO</i>	20
6.5. <i>NEVE</i>	21
7. ANALISI STRUTTURALE	23
7.1. <i>METODOLOGIA E DESCRIZIONE DEL MODELLO</i>	23
7.2. <i>COMBINAZIONI DI CARICO</i>	25
8. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI NUMERICHE.....	26
8.1. <i>SPOSTAMENTI IN ESERCIZIO</i>	29
8.2. <i>VERIFICA DELLE SEZIONI</i>	30
9. TIPOLOGIA E DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI	33
9.1. <i>SCARICHI AGENTI</i>	34
9.2. <i>DIMENSIONAMENTO DELLA VITE</i>	35
9.3. <i>RISULTATI</i>	37
10. CONCLUSIONI.....	39

1. PREMESSA

Con la presente si espongono le procedure di calcolo ed i risultati relativi al predimensionamento delle strutture di supporto e relative fondazioni dei pannelli fotovoltaici da installarsi nell'ambito dei lavori di realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra della potenza di 18.50 MWp, in località Itlei del Comune di Armento (PZ).

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza nominale di 18,50 MWp, con n° 30'848 moduli fotovoltaici da 600 W da installare su strutture metalliche infisse a terra nel Comune di Armento (PZ).

I pannelli saranno collegati fra loro ed alla cabina di consegna mediante cavi elettrici interrati e successivamente alla stazione elettrica di trasformazione. L'impianto da realizzare sarà connesso alla rete di Alta Tensione mediante Sottostazione SSE da connettere alla stazione AT previo ampliamento della stessa secondo le modalità tecniche e procedurali stabilite dal gestore di rete.

Il sito scelto per l'installazione dell'impianto fotovoltaico, di altitudine media 768 m s.l.m.m., si trova in località "Itlei", area dislocata a sud-est del centro abitato di Montemurro e a sud-ovest da Armento da cui dista rispetto al punto baricentrico (in linea d'aria) rispettivamente 5 e 2 km.

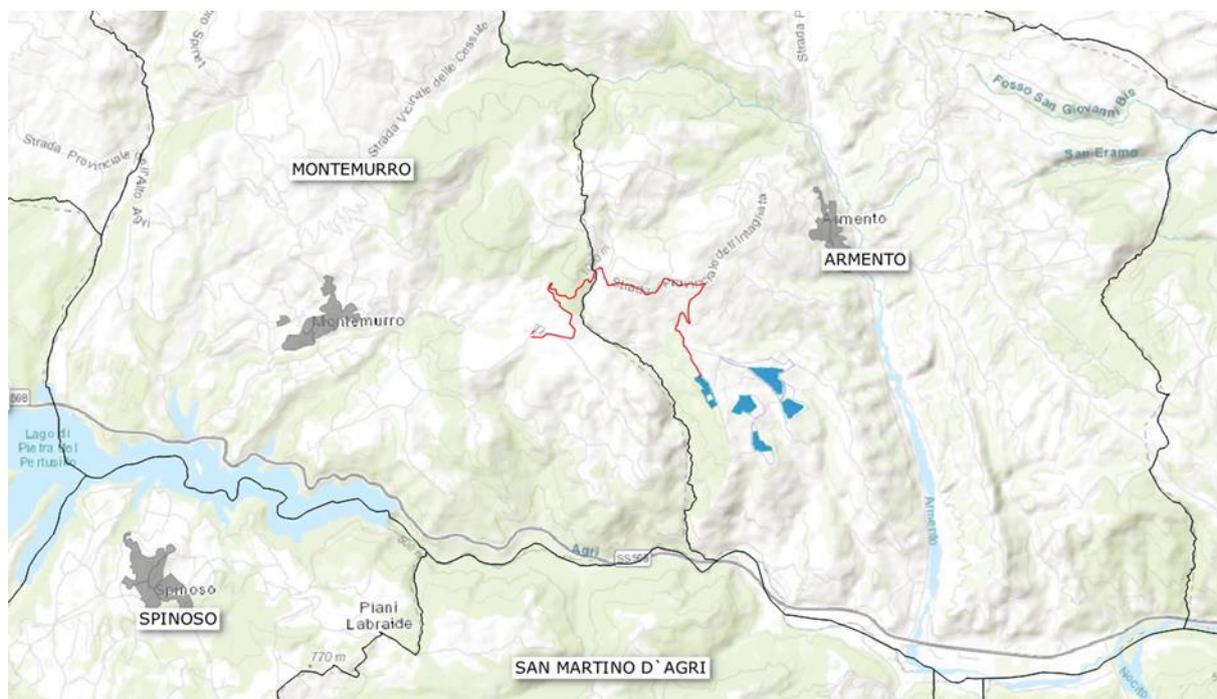


Figura 1. Localizzazione generale del progetto.

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le opere in elevazione sono costituite da profili in acciaio, realizzate in officina ed assemblate in cantiere a formare moduli di dimensioni fisse così come rappresentato nelle seguenti figure.

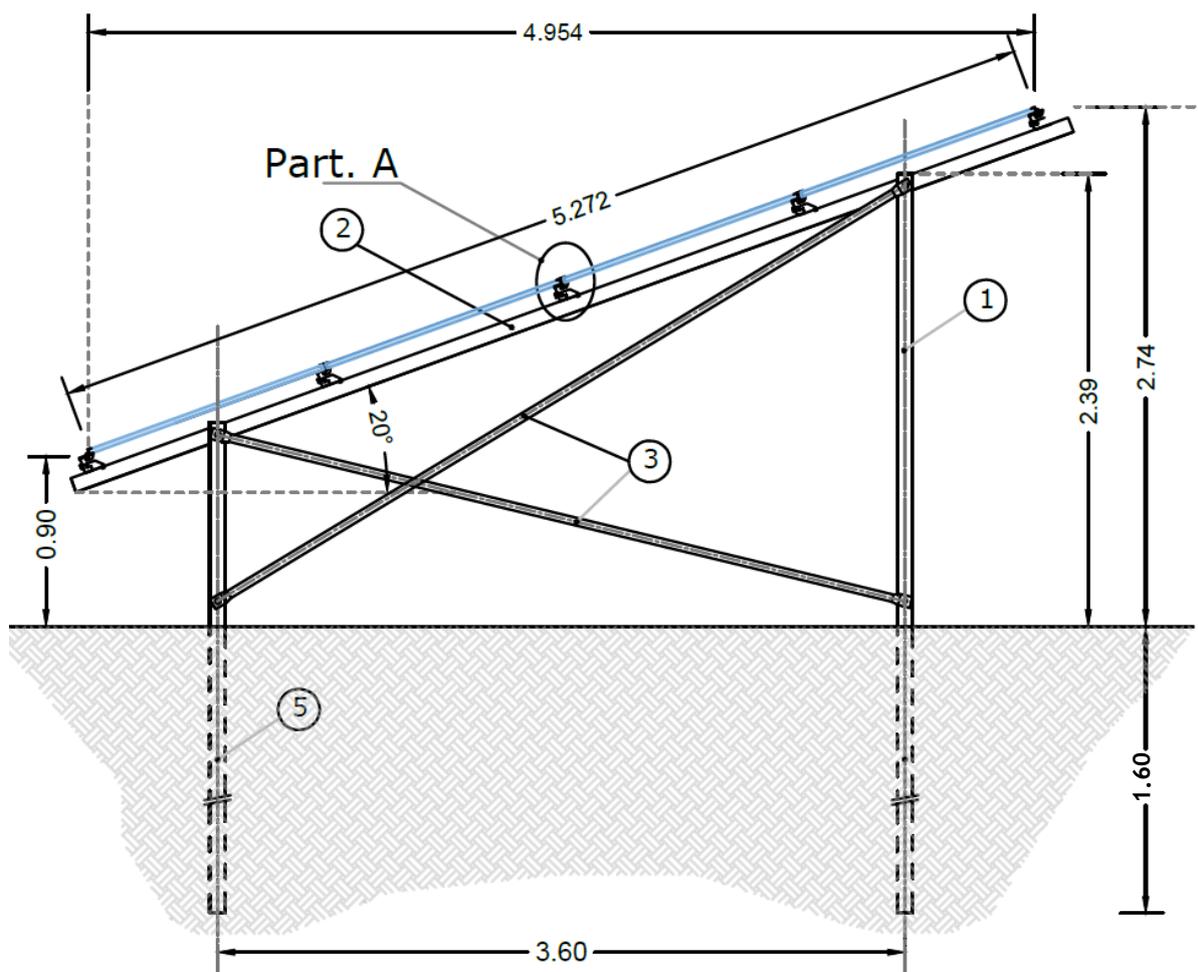


Figura 2. Vista laterale Vela.

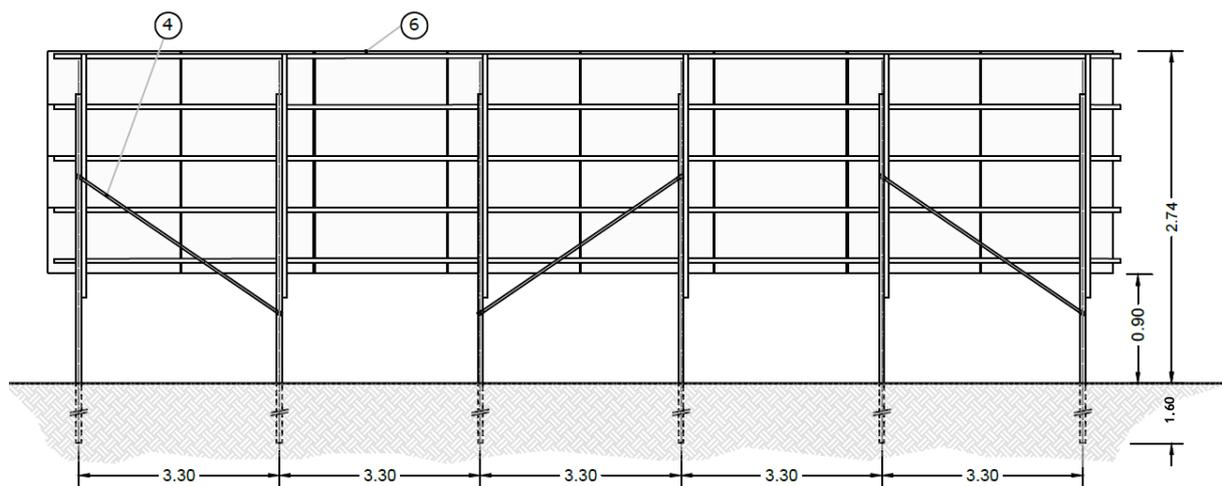


Figura 3. Vista frontale (Posteriore) Vela.

Con riferimento alle figure precedenti di seguito si riportano le sezioni dei vari elementi strutturali.

- (1) C140*70*4
- (2) CC170*70*7
- (3) L40x3
- (4) CC130x70x5

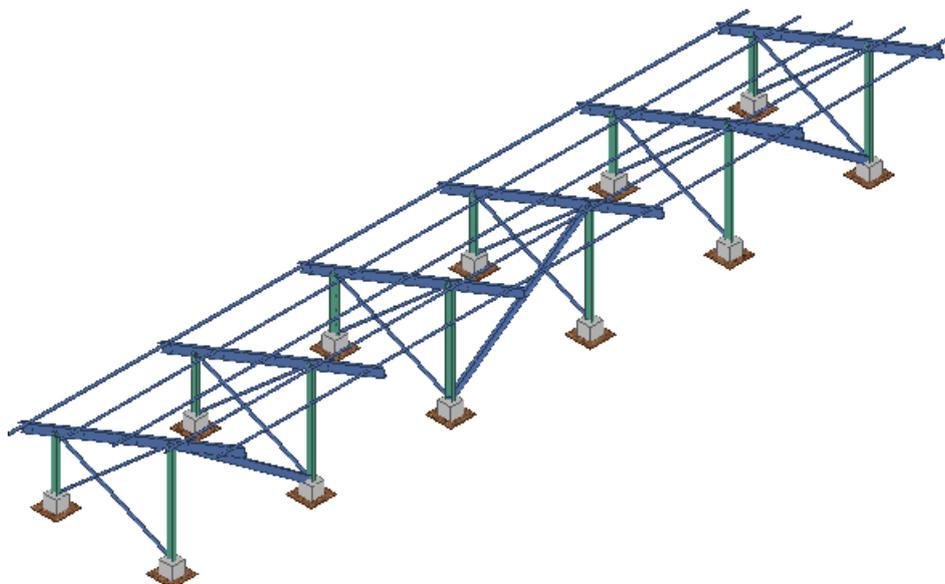


Figura 4. Vista 3D frontale (Posteriore) Vela.

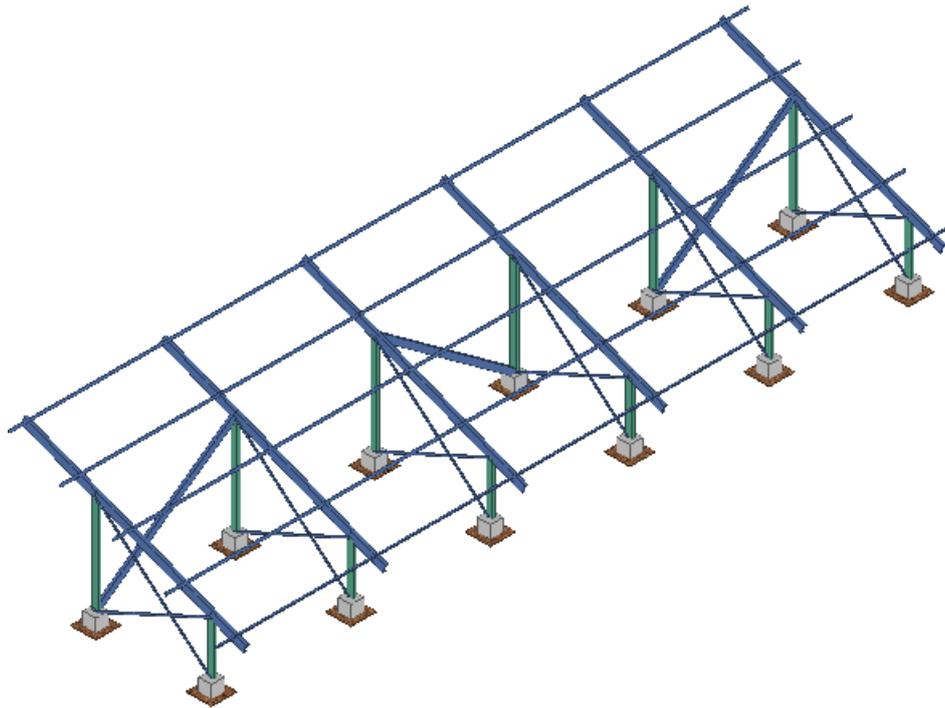
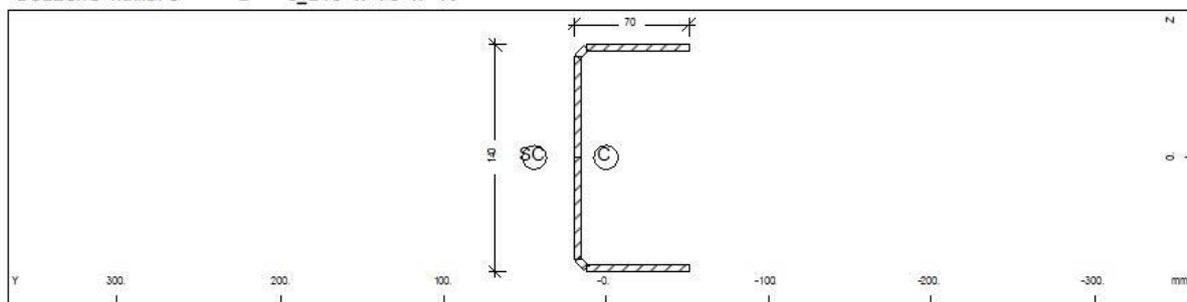


Figura 5. Vista 3D frontale (Anteriore) Vela.

3.1. Caratteristiche delle Sezioni

Sezione numero 1 - C_140 x 70 x 4.



Sezione numero 1 - C_140 x 70 x 4

Proprietà statiche della sezione.

Mate	A [cm ²]	Ay [cm ²]	Iy [cm ⁴]	yc [mm]	ysc [mm]	E [N/mm ²]	g [kN/m]
MRF	It [cm ⁴]	Az [cm ²]	Iz [cm ⁴]	zc [mm]	zsc [mm]	G [N/mm ²]	
		Ayz [cm ²]	Iyz [cm ⁴]				
1	10.62	3.38	322.8	0.0	43.7	210000	0.08
	0.6	4.57	51.5	0.0	0.0	80770	(BEAM)

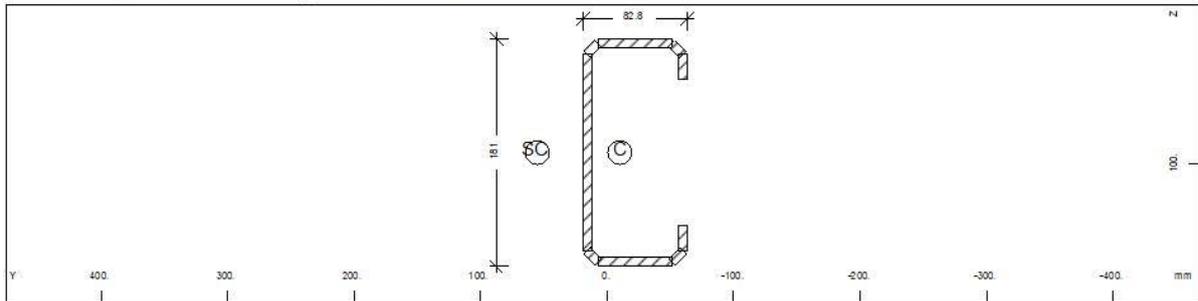
Materiale numero del materiale
 A[cm²] area della sezione
 Ay[cm²],Az[cm²],Ayz[cm²] area di deformazione a taglio
 Iy[cm⁴],Iz[cm⁴],Iyz[cm⁴] momento d'inerzia flessionale
 yc[mm],zc[mm] coordinate del baricentro
 ysc[mm],zsc[mm] coordinate del centro di taglio
 E[N/mm²] Modulo elastico
 g[kN/m] peso per unità di lunghezza
 MRF numero del materiale dell'armatura
 It[cm⁴] momento d'inerzia torsionale
 G[N/mm²] Modulo di taglio

Proprietà statiche aggiuntive della sezione.

α -T [1/K]	ymin [mm]	zmin [mm]	hymin [mm]	AK [cm ²]	MRS	1/WT [1/m ³]	1/WVy [1/m ²]
	ymax [mm]	zmax [mm]	hzmin [mm]	AB [cm ²]		1/WT2 [1/m ³]	1/WVz [1/m ²]
1.2E-05	-50.5	-70.0		7.082E+00		7.060E+05	2.481E+03
	19.5	70.0				3.670E+04	2.079E+03

α -T [1/K] Coeff. di dilatazione
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] coordinate estremi relativamente al baricentro
 hymin[mm],hzmin[mm] valore minimo del braccio interno
 AK[cm²] area equivalente a torsione (Bredt)
 MRS numero del materiale delle staffe
 1/WT [1/m³],1/WT2 [1/m³] resistenza torsionale
 1/WVy [1/m²],1/WVz [1/m²] resistenza tagliante
 AB[cm²] area lorda del calcestruzzo

Sezione numero 2 - Cc_170 x 70 x 7.



Sezione numero 2 - Cc_170 x 70 x 7

Proprietà statiche della sezione.

Mate	A[cm ²]	Ay[cm ²]	Iy[cm ⁴]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm ²]	g[kN/m]
MRF	It[cm ⁴]	Az[cm ²]	Iz[cm ⁴]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm ²]	
		Ayz[cm ²]	Iyz[cm ⁴]				
1	25.38	7.38	1209.1	-10.0	55.1	210000	0.20
	4.1	9.40	222.2	91.0	91.0	80770	(BEAM)

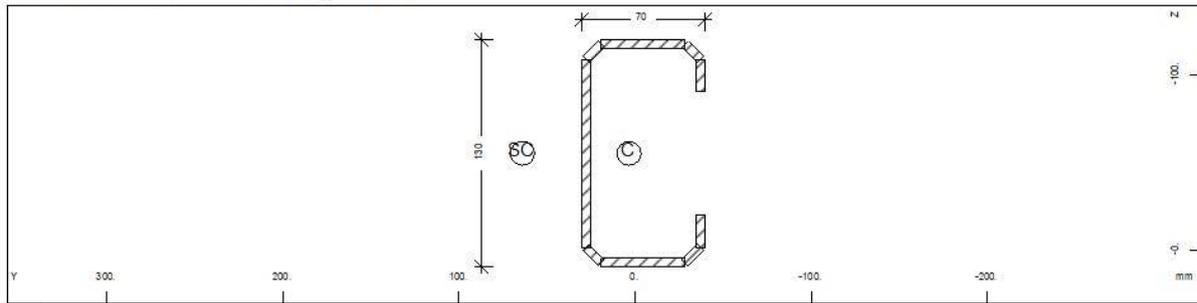
Materiale numero del materiale
 A[cm²] area della sezione
 Ay[cm²],Az[cm²],Ayz[cm²] area di deformazione a taglio
 Iy[cm⁴],Iz[cm⁴],Iyz[cm⁴] momento d'inerzia flessionale
 yc[mm],zc[mm] coordinate del baricentro
 ysc[mm],zsc[mm] coordinate del centro di taglio
 E[N/mm²] Modulo elastico
 g[kN/m] peso per unità di lunghezza
 MRF numero del materiale dell'armatura
 It[cm⁴] momento d'inerzia torsionale
 G[N/mm²] Modulo di taglio

Proprietà statiche aggiuntive della sezione.

α -T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymn[mm]	AK[cm ²]	MRS	1/WT[1/m ³]	1/WVy[1/m ²]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[cm ²]		1/WT2[1/m ³]	1/WVz[1/m ²]
1.2E-05	-53.6	-90.5		1.692E+01		1.689E+05	1.089E+03
	29.2	90.5				1.081E+04	9.545E+02

α -T[1/K] Coeff. di dilatazione
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] coordinate estremi relativamente al baricentro
 hymn[mm],hzmin[mm] valore minimo del braccio interno
 AK[cm²] area equivalente a torsione (Bredt)
 MRS numero del materiale delle staffe
 1/WT[1/m³],1/WT2[1/m³] resistenza torsionale
 1/WVy[1/m²],1/WVz[1/m²] resistenza tagliante
 AB[cm²] area lorda del calcestruzzo

Sezione numero 3 - LCC_130x70x5.



Sezione numero 3 - LCC_130x70x5

Proprietà statiche della sezione.

Mate	A[cm ²]	Ay[cm ²]	Iy[cm ⁴]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm ²]	g[kN/m]
MRf	It[cm ⁴]	Az[cm ²]	Iz[cm ⁴]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm ²]	
		Ayz[cm ²]	Iyz[cm ⁴]				
1	14.42	4.81	357.7	3.4	64.0	210000	0.11
	1.2	4.50	95.4	-55.0	-55.0	80770	(BEAM)

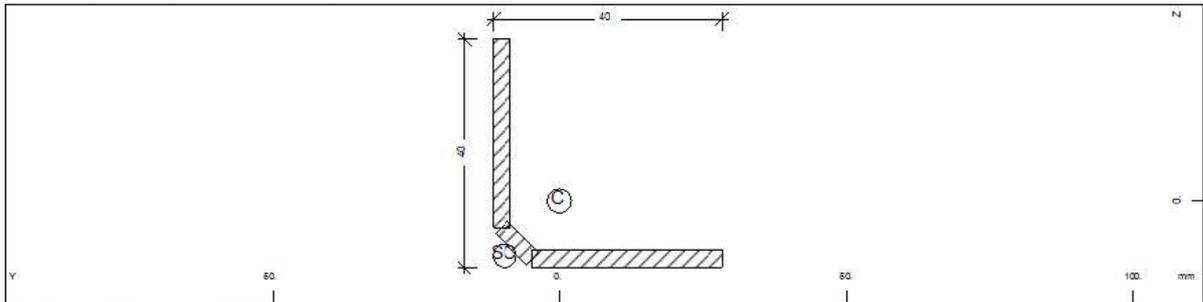
Materiale numero del materiale
 A[cm²] area della sezione
 Ay[cm²],Az[cm²],Ayz[cm²] area di deformazione a taglio
 Iy[cm⁴],Iz[cm⁴],Iyz[cm⁴] momento d'inerzia flessionale
 yc[mm],zc[mm] coordinate del baricentro
 ysc[mm],zsc[mm] coordinate del centro di taglio
 E[N/mm²] Modulo elastico
 g[kN/m] peso per unità di lunghezza
 MRf numero del materiale dell'armatura
 It[cm⁴] momento d'inerzia torsionale
 G[N/mm²] Modulo di taglio

Proprietà statiche aggiuntive della sezione.

α -T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[cm ²]	MRs	1/WT[1/m ³]	1/WVy[1/m ²]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[cm ²]		1/WT2[1/m ³]	1/WVz[1/m ²]
1.2E-05	-43.0	-65.0		9.613E+00		4.161E+05	1.770E+03
	27.0	65.0				2.331E+04	1.863E+03

α -T[1/K] Coeff. di dilatazione
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] coordinate estremi relativamente al baricentro
 hymin[mm],hzmin[mm] valore minimo del braccio interno
 AK[cm²] area equivalente a torsione (Bredt)
 MRs numero del materiale delle staffe
 1/WT[1/m³],1/WT2[1/m³] resistenza torsionale
 1/WVy[1/m²],1/WVz[1/m²] resistenza tagliante
 AB[cm²] area lorda del calcestruzzo

Sezione numero 4 - L40x3.



Sezione numero 4 - L40x3

Proprietà statiche della sezione.

Mate	A [cm ²]	Ay [cm ²]	Iy [cm ⁴]	yc [mm]	ysc [mm]	E [N/mm ²]	g [kN/m]
MRf	It [cm ⁴]	Az [cm ²]	Iz [cm ⁴]	zc [mm]	zsc [mm]	G [N/mm ²]	
		Ayz [cm ²]	Iyz [cm ⁴]				
1	2.21	0.95	3.4	0.0	9.5	210000	0.02
	0.1	0.95	3.4	0.0	9.5	80770	(BEAM)
		10.18	-2.3				

Materiale numero del materiale
 A[cm²] area della sezione
 Ay[cm²],Az[cm²],Ayz[cm²] area di deformazione a taglio
 Iy[cm⁴],Iz[cm⁴],Iyz[cm⁴] momento d'inerzia flessionale
 yc[mm],zc[mm] coordinate del baricentro
 ysc[mm],zsc[mm] coordinate del centro di taglio
 E[N/mm²] Modulo elastico
 g[kN/m] peso per unità di lunghezza
 MRf numero del materiale dell'armatura
 It[cm⁴] momento d'inerzia torsionale
 G[N/mm²] Modulo di taglio

Asse principale d'inerzia ruotato a 45.00 [°]

Momenti principali d'inerzia 5.7018E+00 1.1828E+00 [cm⁴]

Proprietà statiche aggiuntive della sezione.

α -T [1/K]	ymin [mm]	zmin [mm]	hymin [mm]	AK [cm ²]	MRs	1/WT [1/m ³]	1/WVy [1/m ²]
	ymin [mm]	zmin [mm]	hymin [mm]	AB [cm ²]		1/WT2 [1/m ³]	1/WVz [1/m ²]
1.2E-05	-28.4	-28.4		1.476E+00		4.518E+06	1.204E+04
	11.6	11.6				1.197E+07	1.204E+04

α -T[1/K] Coeff. di dilatazione
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] coordinate estremi relativamente al baricentro
 hymin[mm],hzmin[mm] valore minimo del braccio interno
 AK[cm²] area equivalente a torsione (Bredt)
 MRs numero del materiale delle staffe
 1/WT[1/m³],1/WT2[1/m³] resistenza torsionale
 1/WVy[1/m²],1/WVz[1/m²] resistenza tagliante
 AB[cm²] area lorda del calcestruzzo

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G.U. 21 dicembre 1971 n. 321)

“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica ”.

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G.U. 21 marzo 1974 n. 76)

“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche ”.

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

“Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni ”.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Eurocodice 3 - “Progettazione delle strutture in acciaio ” - EN 1993-1-1.

5. MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

- **Acciaio**

- Piastrame e profili -----> S275
- Pali a vite fondazione -----> S355
- Bulloneria -----> cl. 8.8

Caratteristiche acciaio																			
N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	Stz	f _{yk,1} /f _{yk,2}		f _{tk,1} /f _{tk,2}		f _{yd,1} /f _{yd,2}		f _{td}	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	NCn _t	γ _{M7} Cnt
						[N/mm ²]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]								
S275 - (S275)																			
001	78,500	0.000012	210,000	80,769	P	275.00	430	261.90	-	1.05	1.05	1.25	-	-	-	-	-	-	-
						255.00	410	242.86											
Acciaio B450C - (B450C)																			
003	78,500	0.000010	210,000	80,769	P	450.00	-	391.30	-	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						-	-	-											

LEGENDA:

- N_{id}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k Peso specifico.
α_{T, i} Coefficiente di dilatazione termica.
E Modulo elastico normale.
G Modulo elastico tangenziale.
Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
f_{tk,1} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t = 40 mm).
f_{tk,2} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t = 80 mm).
f_{td} Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

PROFILATI, BARRE, LARGHI PIATTI, LAMIERE							
Simbolo	Simbolo UNI	Caratteristiche		S235 ⁽¹⁾	S275 ⁽¹⁾	S355 ⁽¹⁾	
f _t	R _m	Tensione di rottura a trazione [N/mm ²]		≥ 340 ⁽²⁾ ≤ 470 ⁽²⁾	≥ 410 ⁽³⁾ ≤ 560 ⁽³⁾	≥ 490 ⁽⁴⁾ ≤ 630 ⁽⁴⁾	
f _y	R _e	Tensione di snervamento [N/mm ²]		≥ 235 ⁽⁵⁾	≥ 275 ⁽⁶⁾	≥ 355 ⁽⁷⁾	
KV	KV	Resilienza KV (J) ⁽⁸⁾	JR	+20°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			JO	0°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			J2G3	-20°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			K2G	-20°C	-	-	≥ 40
3							
ε _t	A _{min}	Allungamento percentuale a rottura (L ₀ =5.65 √A ₀) - per lamiere - per barre, profilati, larghi piatti		≥ 24 ⁽⁹⁾ ≤ 26 ⁽¹⁰⁾	≥ 20 ⁽⁹⁾ ≤ 22 ⁽¹⁰⁾	≥ 20 ⁽⁹⁾ ≤ 22 ⁽¹⁰⁾	
<p>(1) Rientrano in questi tipi di acciai, oltre agli acciai S235, S275 ed S355 nei gradi JR,JO,J2G3 e K2G3 della UNI EN 10025 (febbraio 1992), anche altri tipi di acciai purchè rispondenti alle caratteristiche indicate in questo prospetto.</p> <p>(2) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.</p> <p>(3) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.</p> <p>(4) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.</p> <p>(5) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 40 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm².</p> <p>(6) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm²; per spessori maggiori di 63 mm fino a 80 mm è ammessa la riduzione di 30 N/mm²; per spessori maggiori di 80 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 40 N/mm².</p> <p>(7) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm²; per spessori maggiori di 63 mm fino a 80 mm è ammessa la riduzione di 30 N/mm²; per spessori maggiori di 80 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 40 N/mm².</p> <p>(8) Per spessori maggiori di 10 mm fino a 100 mm.</p> <p>(9) Da provette trasversali per lamiere, nastri e larghi piatti con larghezza ≥ 600 mm; per spessori maggiori di 3 mm fino a 40 mm; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 1 punto; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 2 punti.</p> <p>(10) Da provette longitudinali per barre, laminati mercantili, profilati e larghi piatti con larghezza < 600 mm; per spessori maggiori di 3 mm fino a 40 mm; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 1 punto; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 2 punti.</p>							

5.1. Protezione dalla corrosione

Al fine di garantire la durabilità delle strutture si prevede che gli elementi portanti in quest'ambito progettati siano sottoposti a trattamento di zincatura a caldo secondo il seguente ciclo di lavorazione nel rispetto delle norme EN ISO 1461/99 e CEI 7-6:

- sgrassaggio: per l'eliminazione di eventuali tracce di grasso, vernici e scorie di saldatura che i pezzi possono portarsi dietro dalle precedenti lavorazioni;
- decapaggio e lavaggio mediante acido cloridrico per eliminare le tracce di ossidi di ferro;
- Flussaggio durante la quale i manufatti di ferro vengono immersi nella vasca di flussaggio
- costituita da sale doppio di zinco e ammonio ($ZnCl_2 \cdot NH_4Cl_2 \cdot H_2O$) per eliminare ogni impurità presente sul ferro ed evitare che lo zinco sottostante si ossidi.;
- essiccazione e preriscaldamento in locali idonei a circa 100 °C per eliminare qualsiasi traccia di liquido dai pezzi;
- immersione nello zinco fuso in apposite vasche con zinco fuso, puro al 99,995 % (norma UNI EN ISO 1179) a circa 450°C per un idoneo tempo di immersione.
- raffreddamento e finitura

6. CARICHI

L'opera sarà soggetta ai seguenti carichi:

- ▲ Peso proprio dei montanti (G1);
- ▲ Sovraccarichi permanenti (peso pannelli fotovoltaici) (G2);
- ▲ Azione del vento direzione parallela alla pendenza (W-Y e W+Y);
- ▲ Azione del vento ortogonale alla pendenza (Wx);
- ▲ Azione della neve (S)
- ▲ Sisma.

La pressione dinamica e l'azione del vento sono azioni che non agiscono contemporaneamente. Se il valore della pressione del vento risulta superiore all'azione dinamica, quest'ultima non genera ulteriori combinazioni di carico, al contrario sostituirà l'azione del vento nelle combinazioni espresse di seguito.

Data la tipologia dell'opera e la notevole prevalenza delle azioni esercitate dal vento rispetto al sisma, quest'ultima condizione non verrà considerata nella presente trattazione.

Le combinazioni di carico da considerare nelle verifiche devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza secondo quanto prescritto dalle NTC2008.

Nel paragrafo a seguire sono specificate le modalità di calcolo dei carichi agenti.

6.1. *Peso proprio G1*

I pesi propri degli elementi strutturali sono valutati in funzione dei seguenti pesi specifici:

- ▲ Peso nell'unità di volume dell'acciaio da carpenteria metallica 78.5 kN/m³

6.2. *Sovraccarichi permanenti G2*

Il carico dovuto ai pannelli comprensivi dei sistemi di fissaggio è stato valutato in funzione del seguente peso specifico:

- ▲ Peso proprio dei pannelli 0.50 kN/m²

6.3. *Vento*

Il vento esercita sulle costruzioni azioni che sono funzione del tempo e dello spazio e provocano in genere effetti dinamici. Per particolari configurazioni strutturali per le quali i modi propri di oscillazione della struttura possono dar luogo a fenomeni di risonanza, può essere necessario uno studio delle interazioni mediante la teoria dell'aeroelasticità o su modelli in scala in galleria del vento. Per costruzioni di forma e tipologia ordinarie, semplici e di limitata estensione, ovvero poco sensibili all'azione dinamica del vento, è possibile descrivere le azioni indotte dal vento caricando la struttura con sistemi di forze o di pressioni i cui effetti siano equivalenti a quelli del vento in regime turbolento, considerando la direzione del vento orizzontale (formulazione quasi-statica equivalente).

Velocità di riferimento del vento (MACROZONAZIONE)

Per il calcolo delle azioni del vento sulla struttura si parte dall'individuazione della velocità di riferimento v_b definita come il valore massimo della velocità media su un intervallo di

tempo di 10 minuti del vento, misurata a 10 metri dal suolo, su un terreno di II categoria (vedi tabella seguente).

Tale velocità corrisponde ad un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni, ovvero ad una probabilità di essere superata in un anno del 2%. Per periodi di ritorno compresi fra 10 e 500 anni la velocità di riferimento $v_b(T_R)$ potrà essere calcolata tramite la relazione:

$$v_b(T_R) = \alpha_R v_b$$

Dove:

$$\alpha_R = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

Per località poste a quota inferiore o uguale a 1500 m sul livello del mare, tale velocità si può calcolare mediante le formule fornite dalla normativa vigente mediante la seguente formulazione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Mappe delle ZONE in cui è suddiviso il territorio italiano

Altitudine:	[m.s.l.m.]	<input type="text" value="792"/>
Periodo di ritorno:	[anni]	<input type="text" value="50"/>
Zona:		<input type="text" value="Zona 3"/>
Distanza dalla Costa:		<input type="text" value="sulla costa, oltre 30 Km"/>
Classe di Rugosità:		<input type="text" value="D"/>
Coefficiente d'Attrito:		<input type="text" value="Liscia (0.01)"/>
Coefficiente di Topografia:		<input type="text" value="1.00"/>

CALCOLA PRESSIONI

Pressioni calcolate a quota ZERO dell'edificio		
Pressione Normale	[N/m ²]	<input type="text" value="1'151"/>
Pressione Tangenziale	[N/m ²]	<input type="text" value="12"/>

Per altitudini superiori a 1500 m, si potrà fare riferimento a condizioni locali del clima e di esposizione.

Tuttavia i valori della velocità di riferimento non dovranno essere inferiori a quelli calcolati per quota 1500 m, e si dovranno ricavare da indagini statistiche adeguatamente comprovate.

Per le costruzioni usuali, le azioni del vento sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al § 3.3.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni relative al DM 20.02.2018. Le azioni statiche del vento sono pressioni e depressioni agenti sulle superfici, esterne e interne, degli elementi. Inoltre, per costruzioni o elementi di grande estensione, si deve tener conto anche delle azioni tangenziali prodotte dal vento. I valori di progetto della pressione del vento dipendono da vari fattori quali da densità dell'aria, posizione geografica, altitudine sul livello del mare del sito, rugosità, dalla topografia, altezza e forma dell'edificio e periodo di ritorno.

La valutazione della pressione del vento si basa sulla definizione di:

- a) velocità base di riferimento v_b , funzione della posizione geografica e dell'altitudine sul livello del mare della costruzione, definita al §3.3.1 delle NTC 2018;
- a) velocità di riferimento v_r , funzione del periodo di ritorno di progetto T_R definita al §3.3.2 delle NTC 2018;
- b) pressione cinetica di riferimento q_r definita al §3.3.6 delle NTC 2018;

- c) coefficiente di esposizione c_e funzione della categoria di esposizione e della rugosità del terreno nel sito;
- d) coefficiente di topografia c_t ;
- e) coefficiente aerodinamico c_p (o coefficiente di forma), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;
- f) coefficiente dinamico c_d , tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

La pressione del vento è quindi data dall'espressione 3.3.4 delle NTC 2018:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Indicazioni sulla valutazione dei coefficienti c_e , c_p e c_d sono riportate nello specifico nei paragrafi C.3.3.7-C.3.3.9 della Circolare applicativa 2019.

L'azione tangente del vento per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione 3.3.5 delle NTC 2018:

$$p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f$$

dove c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Pressione cinetica di riferimento.

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

dove

- ▲ v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s);
- ▲ ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Coefficiente di esposizione.

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200 \text{ m}$, esso è dato dalla formula:

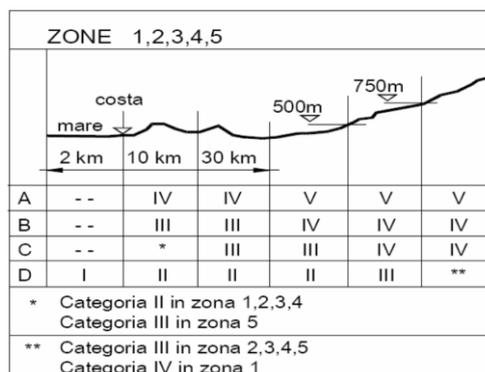
$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

k_r , z_0 , z_{\min} sono assegnati nella seguente tabella in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione; c_t è il coefficiente di topografia.

Categoria di esposizione del sito	k_r	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

per la zona in questione, Zona di Vento 3, la categoria di esposizione la si ricava dalla seguente figura accedendo mediante la classe di rugosità individuata dalla tabella di seguito riportata.



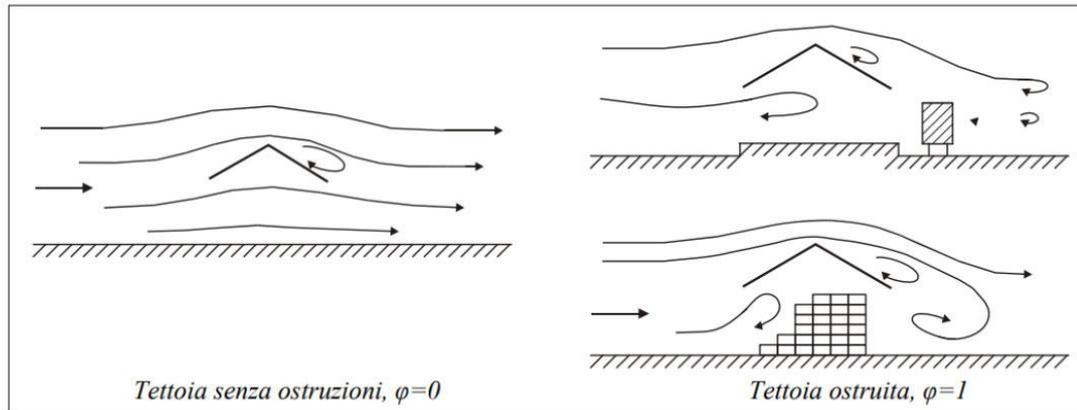
Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

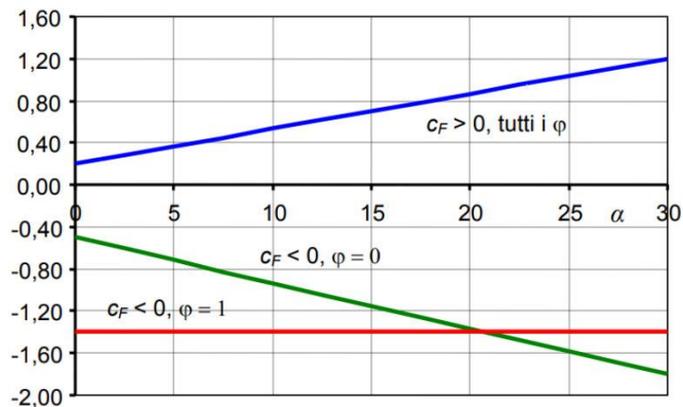
Coefficiente di forma.

Nel caso di tettoie e pensiline si deve tenere conto del coefficiente di bloccaggio Φ che come si desume dalla seguente figura, nel caso in questione si assume pari a 0.

- $\Phi=0$ assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia;
- $\Phi=1$ spazio al di sotto della tettoia completamente ostruito.



Nella seguenti figure si mostra come il coefficiente di forza c_F dipendi dal grado di bloccaggio e dall'inclinazione della falda.



Valori positivi	Tutti i valori di ϕ	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\phi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$
	$\phi = 1$	$c_F = -1,4$

Nel caso in questione essendo $\alpha=30^\circ$ si ha:

- ▲ valori positivi: $c_F = 0.2 + 30/30 = 1.2$
- ▲ valori negativi: $c_F = -0.5 - 1.3 \times 30/30 = -1.8$

I coefficienti così determinati sono da considerarsi applicabili nei tratti correnti lontani dai tratti iniziali ove insistono pressioni maggiori.

6.5. Neve

Il carico neve è valutato con l'espressione:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

- ▲ q_s = Carico neve sulla copertura
- ▲ μ_i = Coefficiente di forma della copertura
- ▲ q_{sk} = Valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo (Macrozonazione) di cui al punto 3.4.2 della Normativa/2008 per un periodo di ritorno pari a 50 anni.
- ▲ C_E = Coefficiente di esposizione (Microzonazione) di cui al punto 3.4.3 della Normativa/2008
- ▲ C_t = Coefficiente termico di cui al punto 3.4.4 della Normativa/2008

Carico neve al suolo.

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali del clima e dalla zona di appartenenza.

Si riporta di seguito la suddivisione in zone dell'intero territorio italiano.

▲ *Zona I- Alpina.*

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.

▲ *Zona I - Mediterranea.*

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.

▲ *Zona II.*

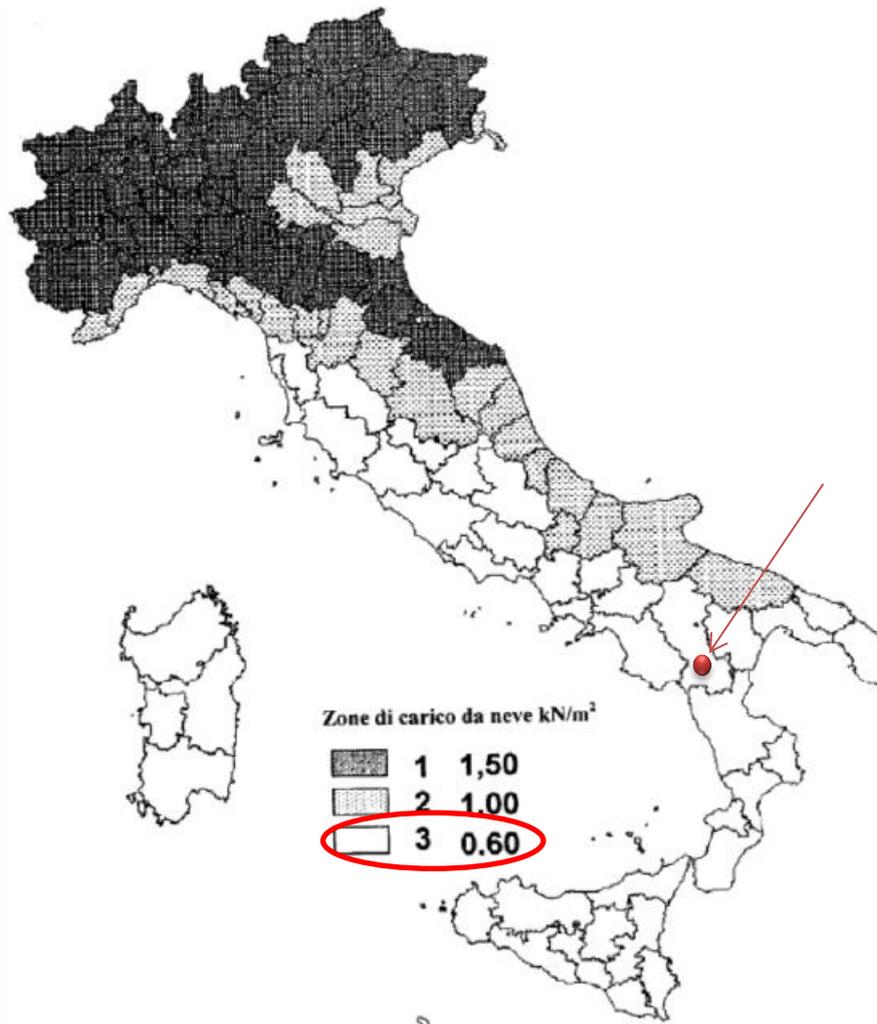
Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.

▲ *Zona III.*

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio,

Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.

L'opera in questione verrà edificata in un sito ricadente nella **Zona III** come si evince dalla seguente mappa.



ponendo:

$a_s = 730$ metri e $C_E = 3$

si ottiene che il valore caratteristico della neve al suolo è:

$$q_{sk} = 1.68 \text{ kN/mq}$$

Coefficienti di forma per il carico neve e condizioni di carico.

Coefficiente di forma μ_1 : 0,80

Pertanto il **CARICO NEVE** sulla vela sarà:

$$q_{sk} = 1.35 \text{ kN/m}^2$$

7. ANALISI STRUTTURALE

7.1. Metodologia e descrizione del modello

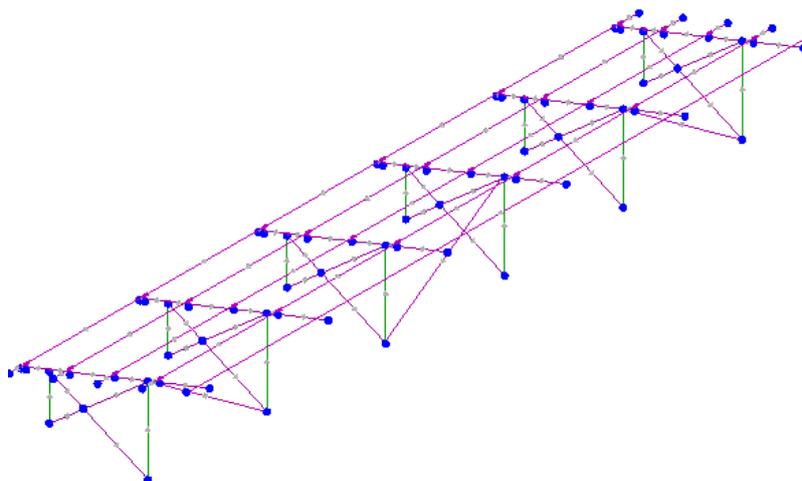
Si è proceduto al calcolo di un singolo modulo minimo caricato per la quota parte di carico ed esso competente. Nonostante la semplicità della struttura si è optato per un calcolo agli elementi finiti con l'ausilio del software EDILUS AC mediante il quale si sono eseguite le verifiche.

Per il dimensionamento delle strutture, sono state condotte analisi in campo non lineare per portare in conto il comportamento degli elementi cable reagenti solo a trazione. Le verifiche di sicurezza svolte hanno mirato alla valutazione della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi, utilizzando, per la verifica delle sezioni, il metodo elastico, pertanto calcolata la tensione massima agente la si è confrontata con quella di snervamento f_{yd} dei materiali precedentemente descritti.

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

Viene definita un'opportuna numerazione degli elementi (nodi, aste, shell) costituenti il modello, al fine di individuare celermente ed univocamente ciascun elemento nei "Tabulati di calcolo".

Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica dettagliata della discretizzazione operata con evidenziazione dei nodi e degli elementi.



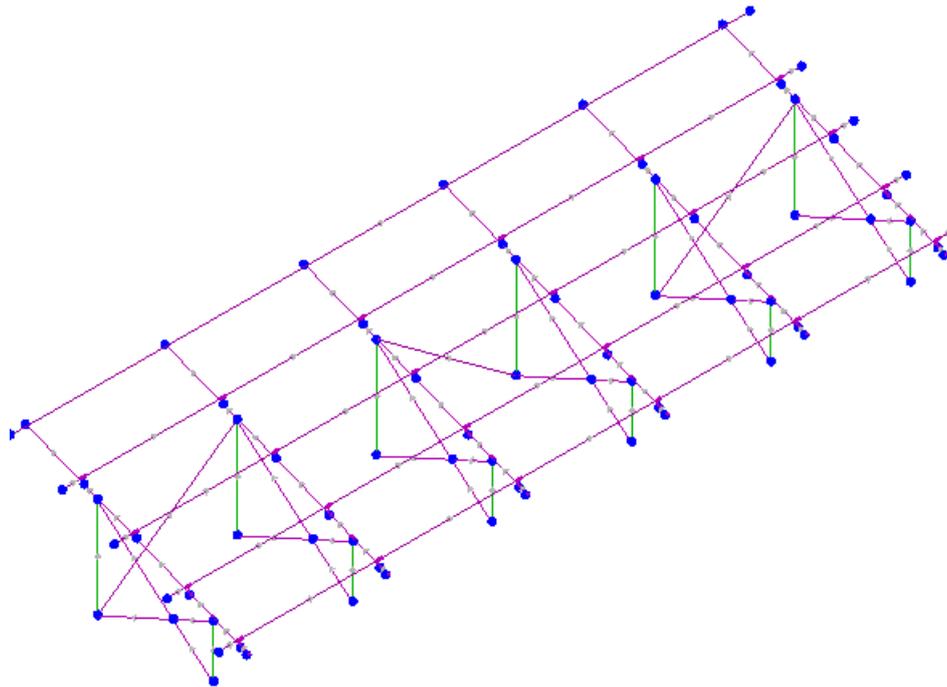


Figura 6. Vista Anteriore e Posteriore.

Le aste in acciaio, sia travi che pilastri, sono schematizzate con un tratto flessibile centrale e da due tratti (braccetti) rigidi alle estremità. I nodi vengono posizionati sull'asse verticale dei pilastri, in corrispondenza dell'estradosso della trave più alta che in esso si collega. Tramite i braccetti i tratti flessibili sono quindi collegati ad esso. In questa maniera il nodo risulta perfettamente aderente alla realtà poiché vengono presi in conto tutti gli eventuali disassamenti degli elementi con gli effetti che si possono determinare, quali momenti flettenti/torcenti aggiuntivi.

Le sollecitazioni vengono determinate solo per il tratto flessibile. Sui tratti rigidi, infatti, essendo (teoricamente) nulle le deformazioni, le sollecitazioni risultano indeterminate.

Questa schematizzazione dei nodi viene automaticamente realizzata dal programma anche quando il nodo sia determinato dall'incontro di più travi senza il pilastro, o all'attacco di travi/pilastri con elementi shell.

La modellazione del materiale degli elementi in c.a., acciaio e legno segue la classica teoria dell'elasticità lineare; per cui il materiale è caratterizzato oltre che dal peso specifico, da un modulo elastico (E) e un modulo tagliante (G).

La possibile fessurazione degli elementi in c.a. è stata tenuta in conto nel modello considerando un opportuno decremento del modulo di elasticità e del modulo di taglio, nei limiti di quanto previsto dalla normativa vigente per ciascuno stato limite.

Gli eventuali elementi di fondazione (travi, platee, plinti, plinti su pali e pali) sono modellati assumendo un comportamento elastico-lineare sia a trazione che a compressione.

7.2. Combinazioni di carico

Combinazioni di carico SLU:

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

Combinazioni di carico RARE:

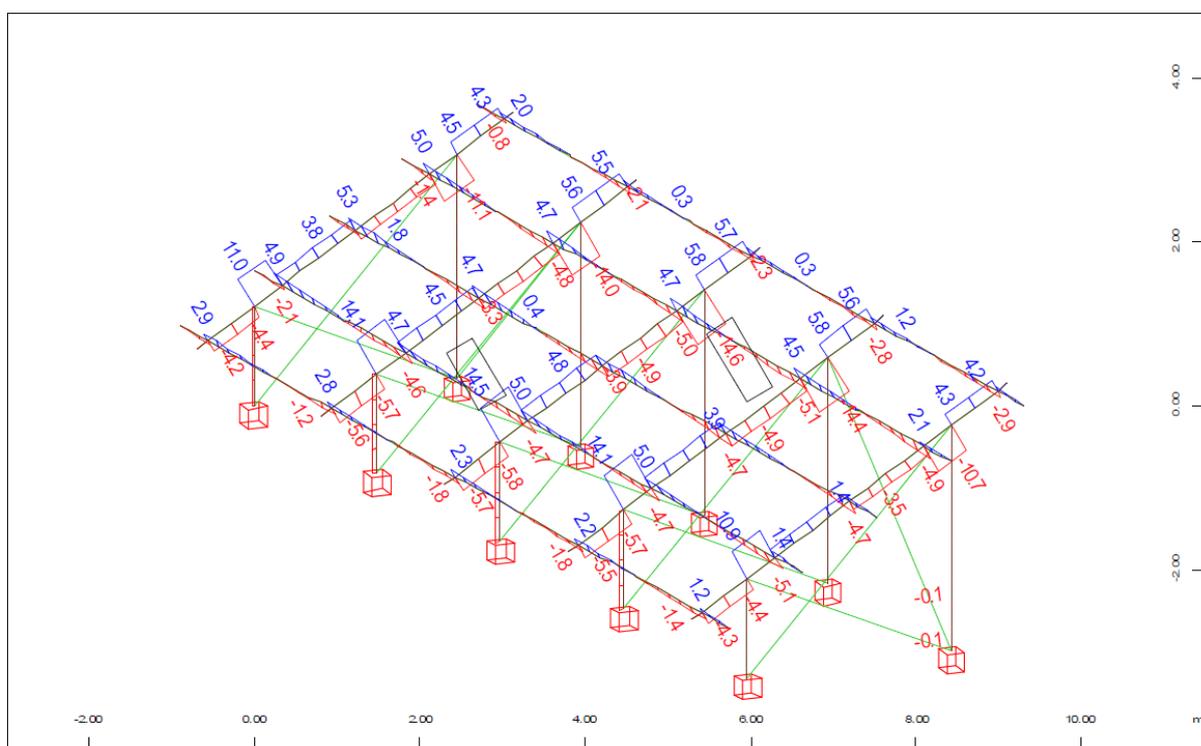
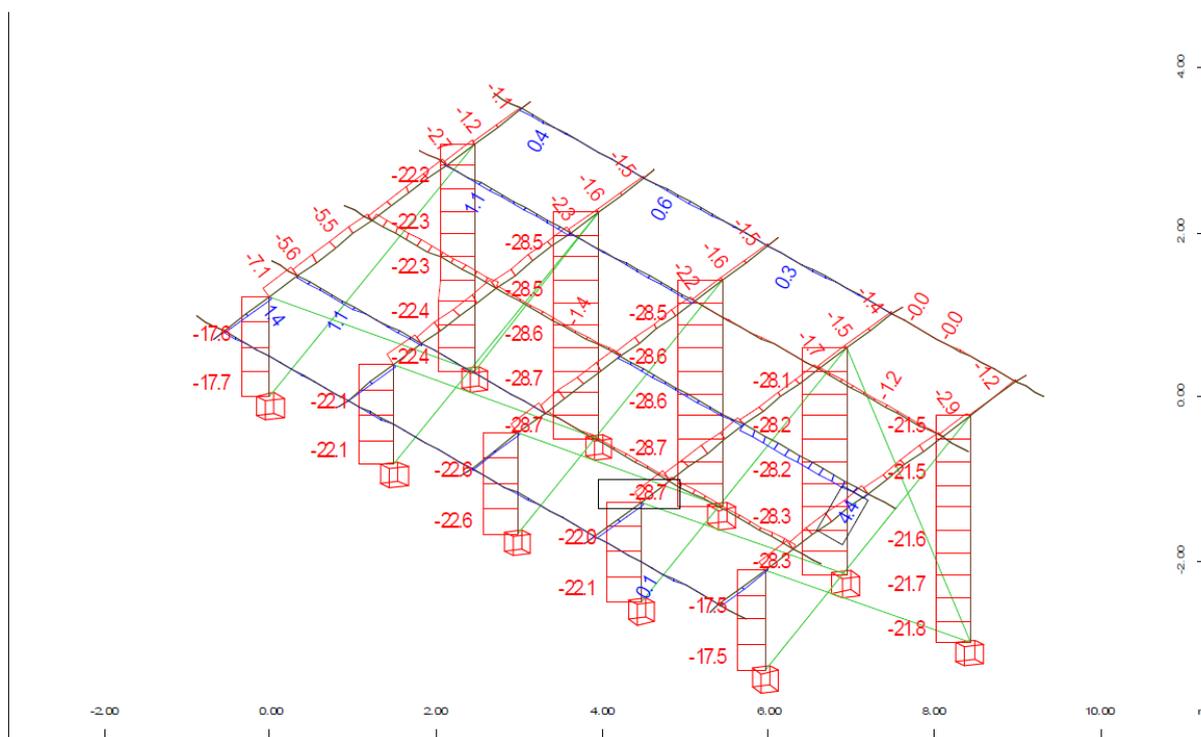
$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

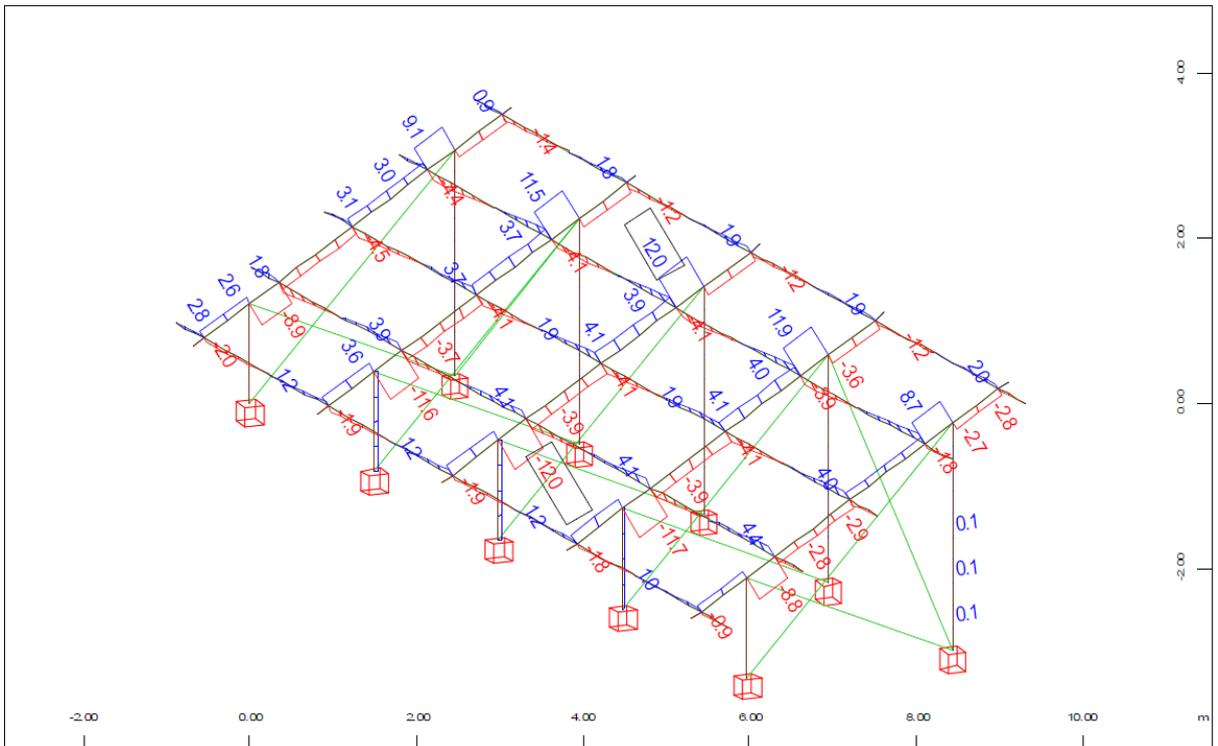
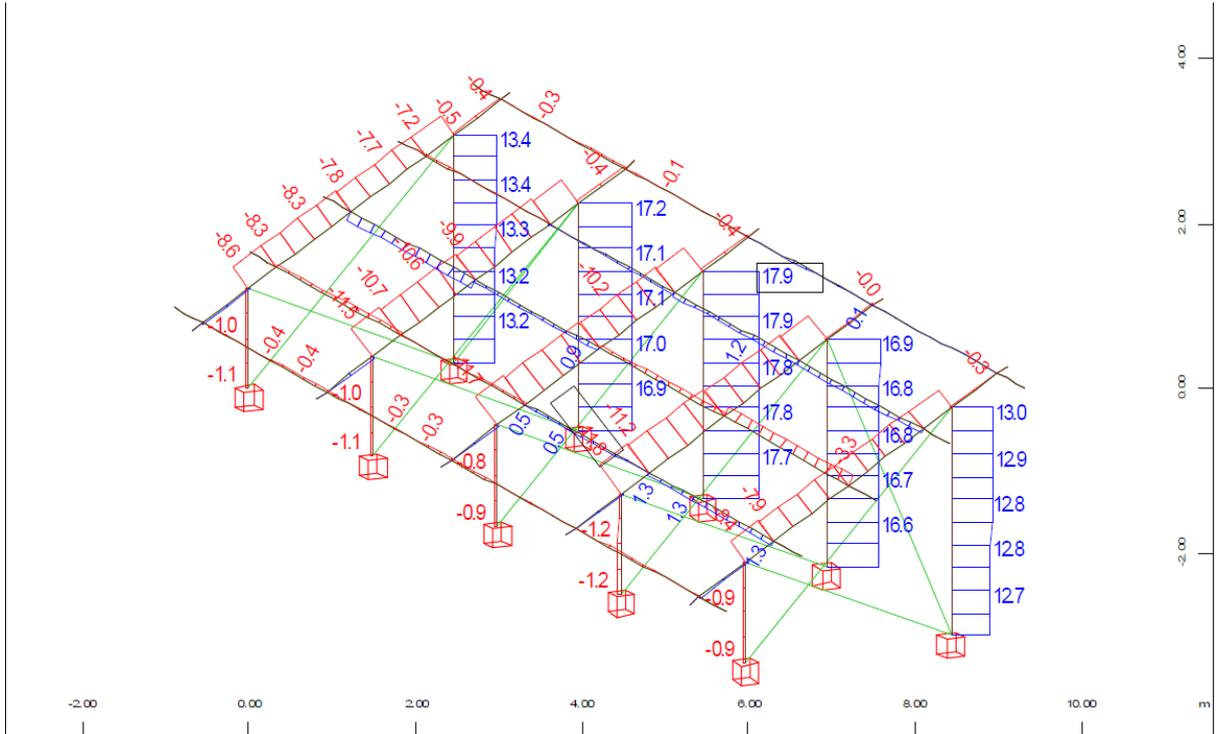
Coefficienti parziali:

type	part	sup	Designation	γ -u	γ -f	γ -a	ψ -0	ψ -1	ψ -2
G_1	G	perc	dead load g1	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G_2	G	perc	G non strutturali	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S	Q	cond	snow loading	1.50	0.00	1.00	0.50	0.20	0.00
W	Q	excl	wind loading	1.50	0.00	1.00	0.60	0.20	0.00
type	action			γ -u, γ -f, γ -a safety factors for unfavourable/favourable/accidental					
part	partition of the action			ψ -0, ψ -1, ψ -2 combination coefficients					
sup	superposition type								

8. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI NUMERICHE

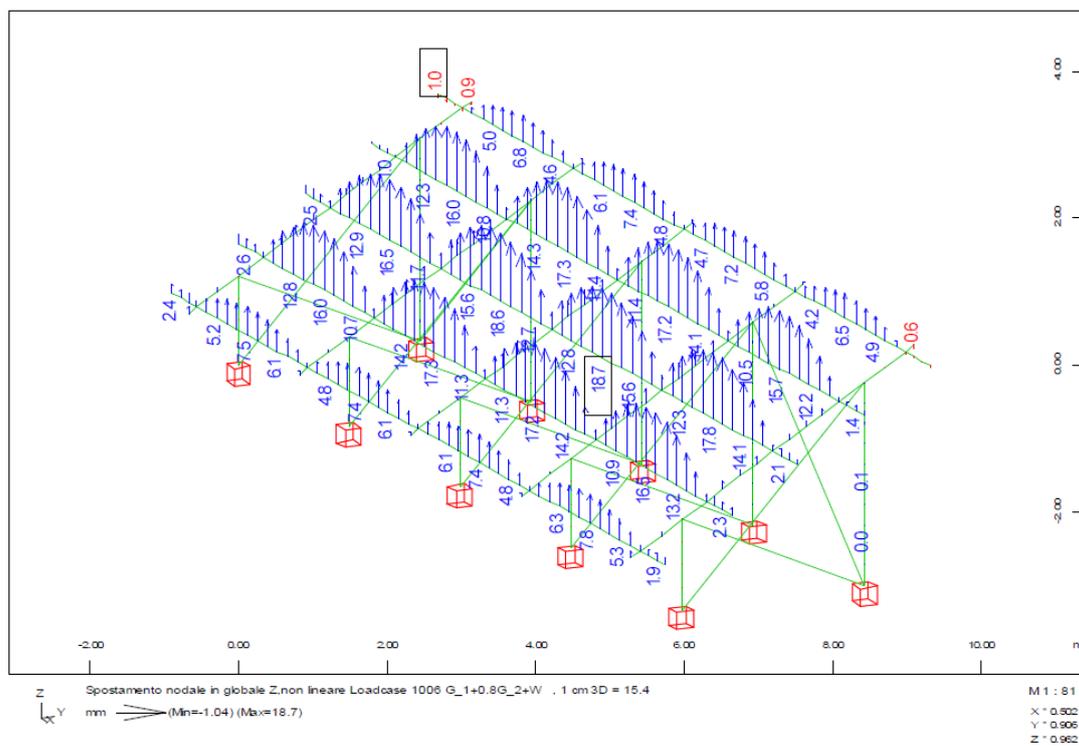
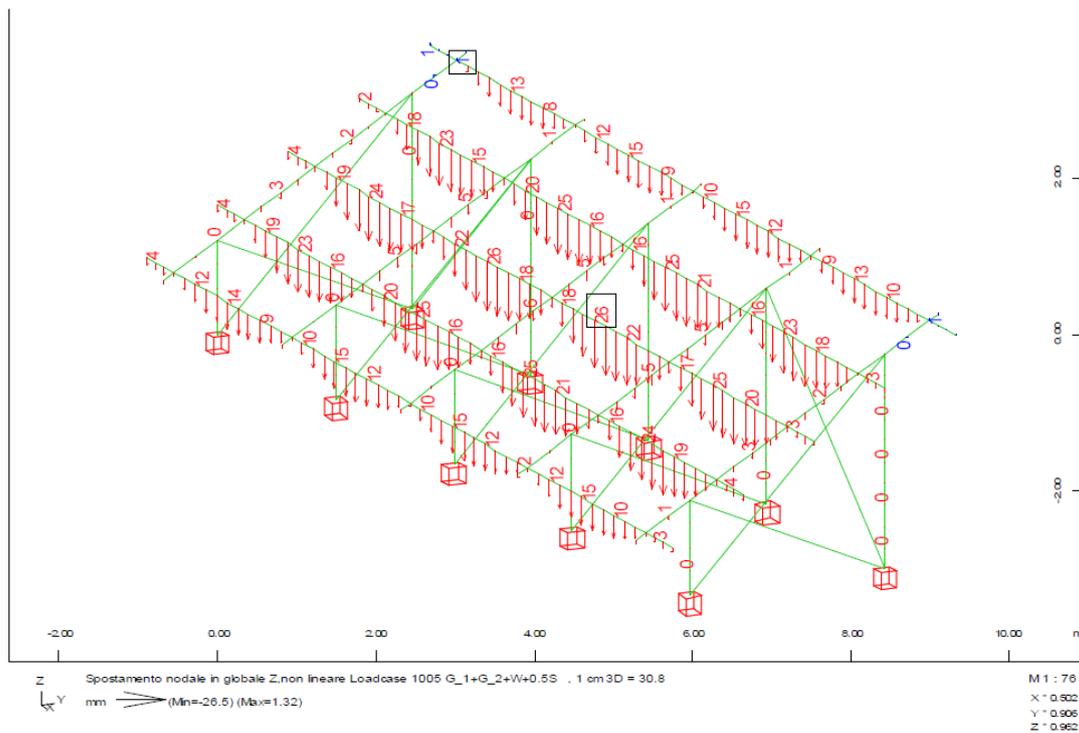
I risultati delle analisi numeriche sono di seguito rappresentati mediante mappe a colore per le combinazioni di carico più rappresentative. Si espongono i risultati delle sollecitazioni: sforzo Normale N, Taglio Vz, Momenti flettenti My e Mz.





8.1. Spostamenti in esercizio

Di seguito si riportano gli spostamenti verticali per le combinazioni rare maggiormente rappresentative ($1.3G_1+1.5G_2+1.5W+Y+0.75S$; $G_1+0.8G_2+1.5W-Y$). Tali spostamenti in fase di progettazione esecutiva dovranno essere confrontati con quelli ammissibili dei pannelli al fine di evitare la rottura di questi.



8.2. Verifica delle sezioni

Di seguito si è proceduto alla verifica delle sezioni maggiormente sollecitate sulla base delle sollecitazioni derivanti dall'involuppo delle combinazioni ultime ottenute dalle sollecitazioni relative alle singole condizioni di carico elementari. Valutata la classe delle sezioni in funzione anche del tasso di lavoro in termini tensionali si è optato per il metodo elastico per il cui esito positivo della verifica deve risultare:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

In presenza di un taglio significativo il momento flettente sopportabile dalla sezione è stato calcolato assumendo una tensione di calcolo ridotta:

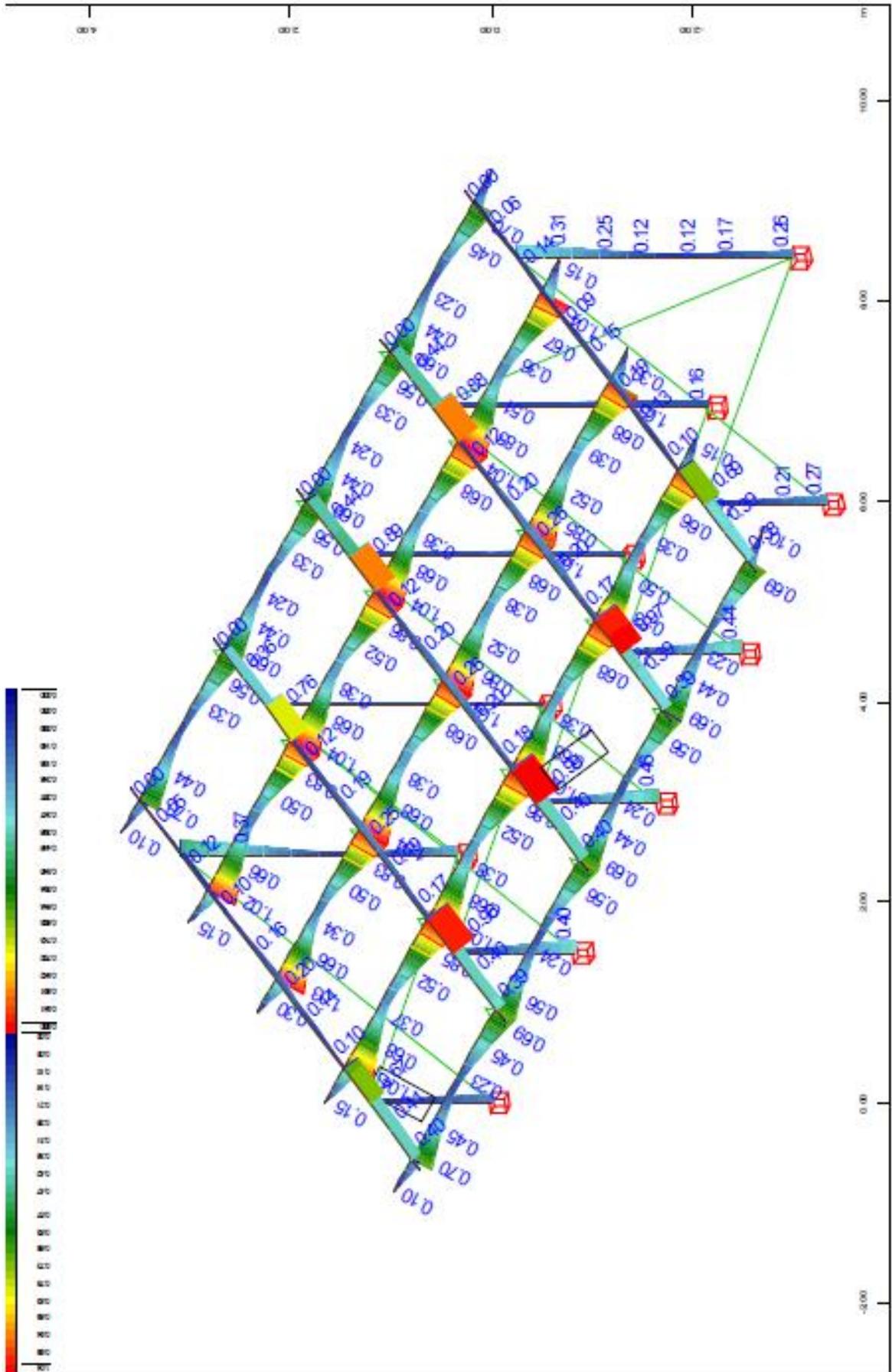
$$(1-\rho)f_y$$

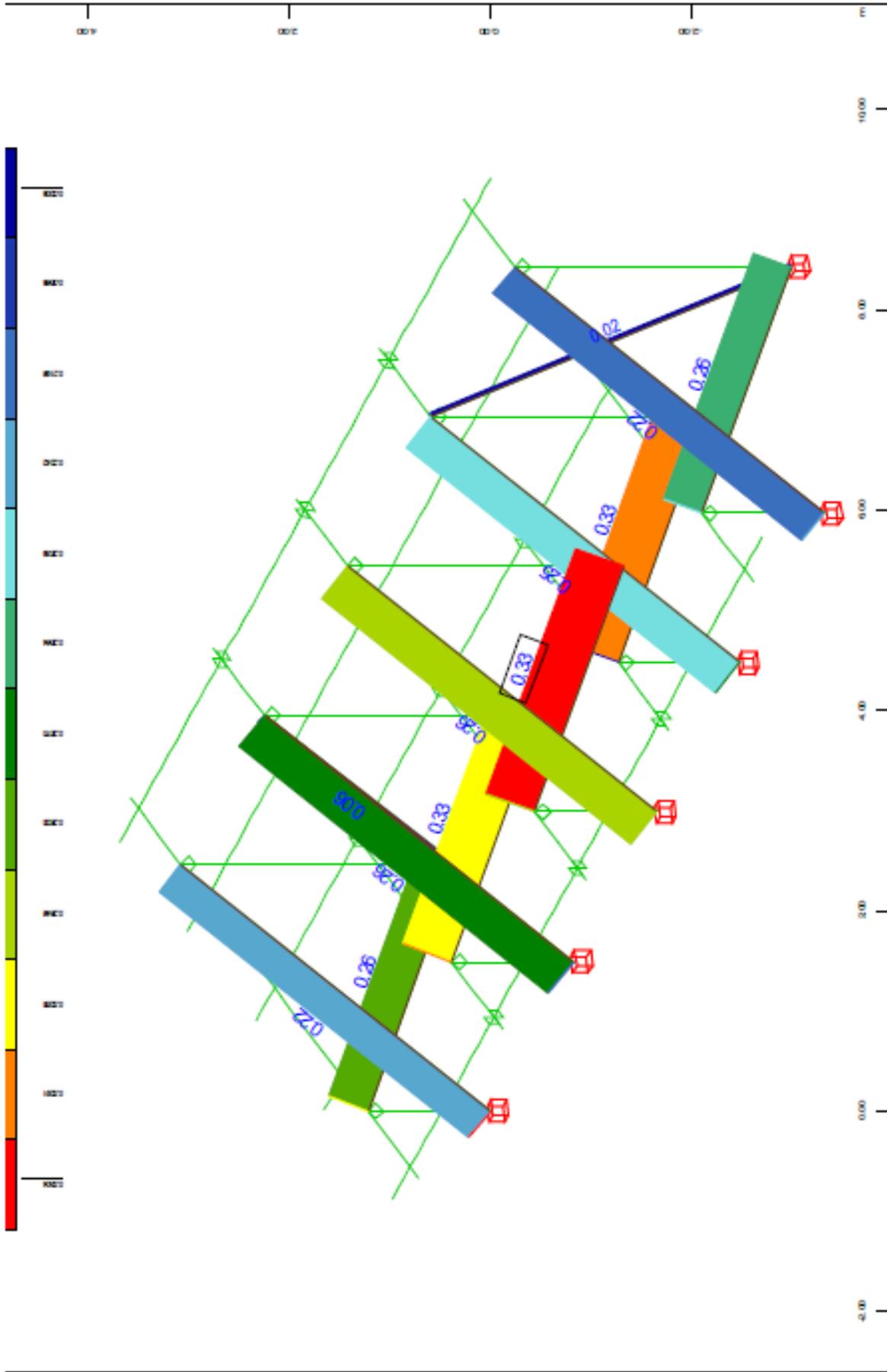
con

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{RM}} - 1\right)^2$$

Nelle seguenti figure si rappresenta, mediante mappe a colori, il livello di utilizzo della sezione.

Le verifiche sono soddisfatte se tale valore è minore o uguale a 1.



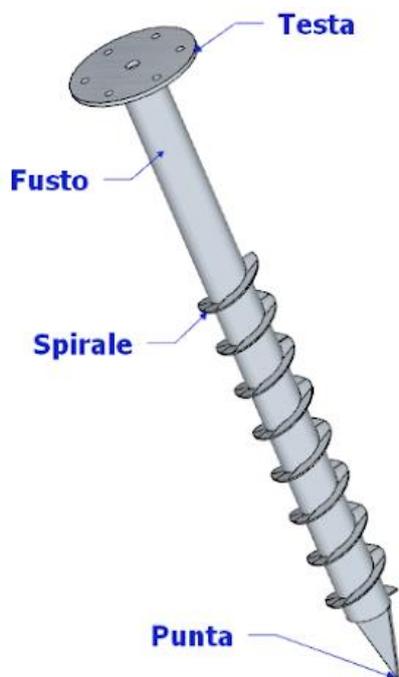


9. TIPOLOGIA E DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI

La tipologia dell'opera la quale presenta una notevole quantità di pilastri e l'entità degli scarichi che sebbene non elevato sono comunque non trascurabili ha portato alla scelta di una tipologia di fondazione che possa essere facilmente installata e rimossa con recupero di tempo in fase di esecuzione e di materiale a fine ciclo dell'impianto.

Le azioni trasmesse dalla struttura al terreno sono caratterizzate da azioni verticali di segno opposto.

Le fondazioni devono poter sopportare oltre che azioni orizzontali anche azioni di compressione e di trazione. Fra le possibili soluzioni analizzate la tipologia che ben si presta a risolvere le problematiche in questione sono le fondazioni a vite di cui si riporta una rappresentazione schematica nella seguente figura.



La struttura delle fondazioni a vite è costituita da:

- ▲ Fusto
- ▲ Spirale
- ▲ Testa
- ▲ Punta

Il Fusto è un tubo a sezione circolare di diametro e spessore variabili, è l'elemento che trasferisce il carico alle eliche della spirale.

La Spirale permette l'infissione della vite al suolo e assolve le funzioni di portata dei carichi.

La Testa è l'elemento di collegamento con la struttura o la funzione fuori terra.

La Punta (talvolta assente) ha la funzione di facilitare l'infissione della vite nel terreno.

Tutti gli elementi descritti sono variabili e dimensionabili in funzione di:

- ▲ Profondità di infissione
- ▲ Tipo di sollecitazione
- ▲ Tipi di terreno
- ▲ Uso delle viti

Da valutazioni si indicano viti con fusto di diametro 88.9mm e spessore 6.3, elica con diametro 180 e lunghezza di questa, a partire 60cm dalla testa, pari a 140 cm. la lunghezza totale della vite sarà pari a 200 cm.

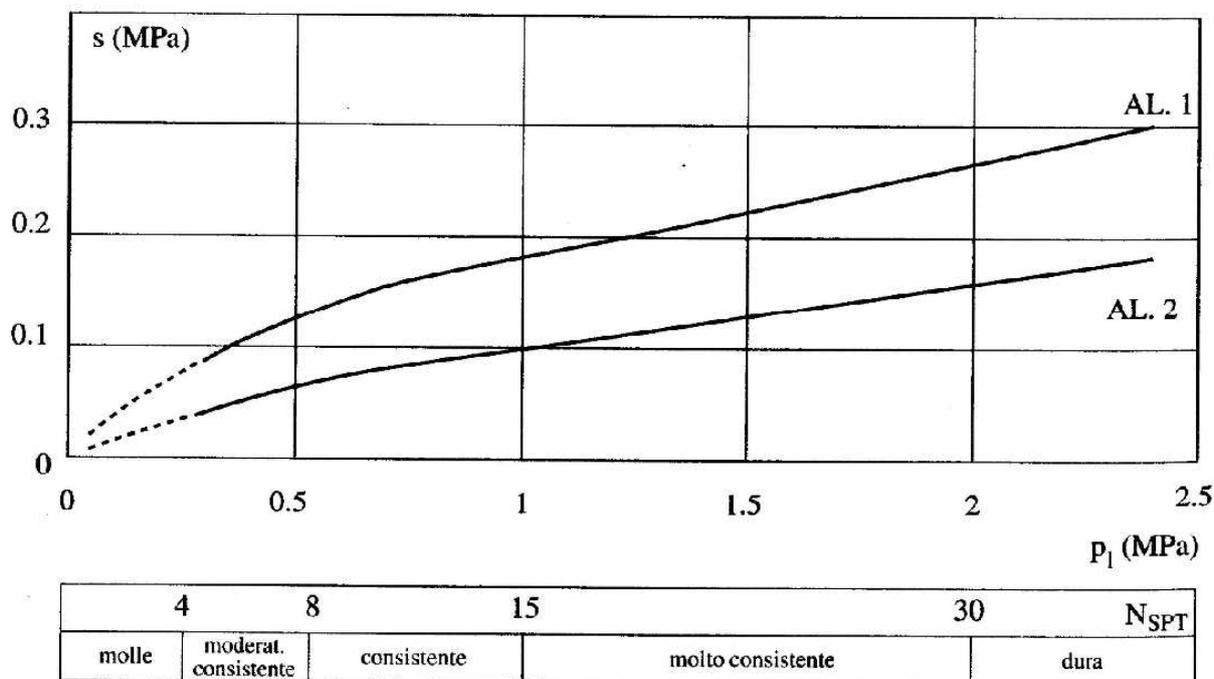
9.2. Dimensionamento della vite

Il dimensionamento della vite contempla sia l'aspetto strutturale, verificando il fusto, che geotecnico determinando il diametro dell'elica.

Anche in questo caso la verifica della sezione è condotta con il metodo elastico mentre la portanza è calcolata con il metodo di Bustamante e Diox per il quale la portanza laterale alla quale sarà affidato il 100% del carico, è data dalla relazione:

$$S = \pi \cdot d_s \cdot L_s \cdot s$$

dove d_s è il diametro dell'elica L_s è la lunghezza del palo con elica mentre s lo si ricava dal seguente grafico in funzione del numero di colpi SPT.



Dall'esame delle prove geotecniche condotte dal Dott. Geol. Pasquale Truncellito si evince che alla profondità immediatamente al di sotto dello strato vegetale si possono ritrovare 2 differenti unità geotecniche. In questo ambito si farà riferimento alla unità geotecnica 1 avente caratteristiche più scadenti rispetto all'altra. Di seguito si riportano i valori estrapolati dal suddetto studio.

Sabbie addensate

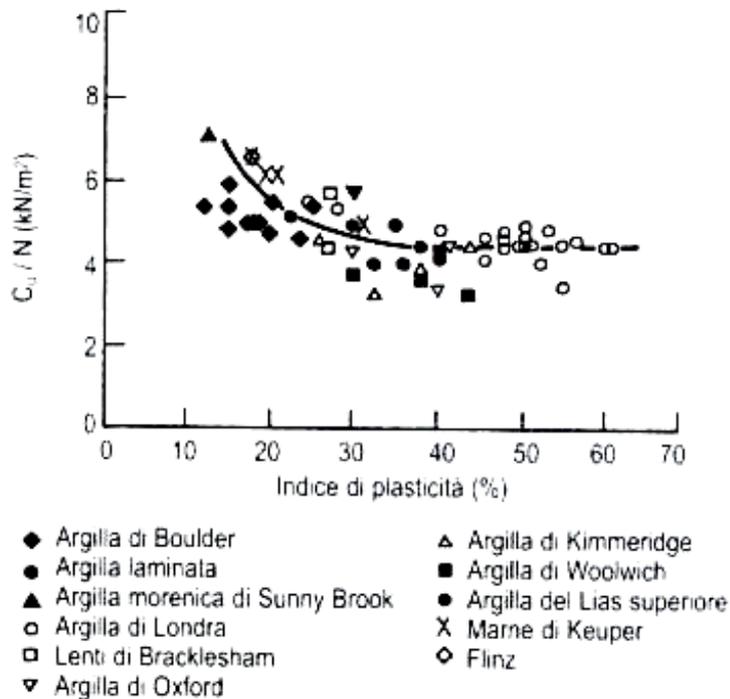
Spessore variabile da circa 2.50 a 4.50m. Tale unità è costituita prevalentemente da limo argilloso di media consistenza

Angolo di attrito interno ϕ (gradi)	Coesione non drenata Cu (Kpa)	Peso di volume naturale γ_n (KN/mc)	Modulo Edometrico MPa
30.00	40	19.00	9.70

Tramite la correlazione di stroud (1974),

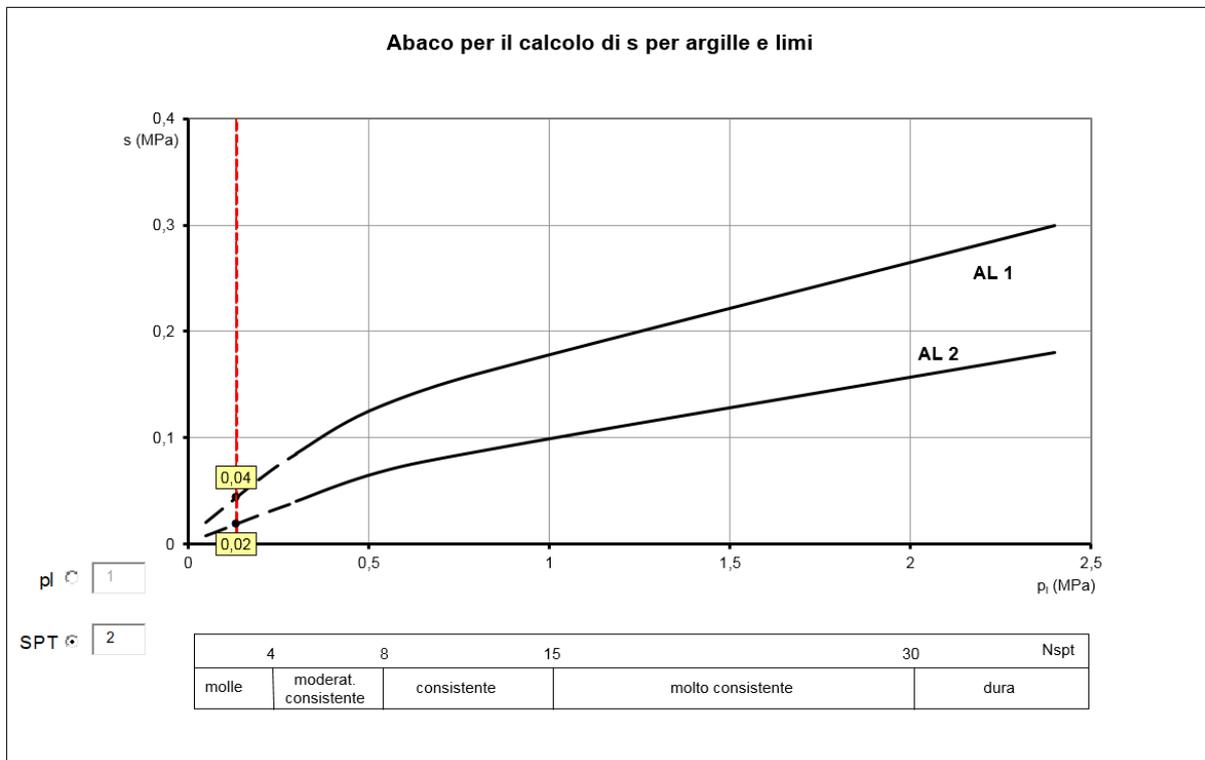
$$c_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

si ricava da c_u il valore N_{SPT} pari a c_u/f_1 dove f_1 varia in funzione della plasticità da 3,5 a 6,5. E mediamente vale 4,5 kPa, come mostrato in Figura, dove è possibile rilevare la dispersione dei dati sperimentali su cui si basa la correlazione.



Pertanto, assumendo $f_1=4,5$ kPa si ha $N_{SPT}= 2$

Dal grafico fissato il numero di colpi e facendo riferimento alla curva AL2 che si riferisce a micropali semplicemente iniettati, confrontabile con la tipologia in oggetto, si ricava un valore di s pari a 0.02

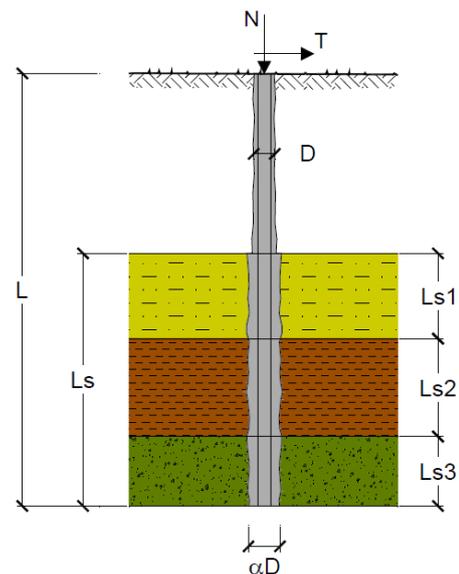


9.3. Risultati

Partendo dalle sollecitazioni agenti definite dall'ipotesi di calcolo strutturale, abbiamo:

$$N = 30,40 \text{ kN}$$

$$T = 19,50 \text{ kN}$$



n	1	2	3	4	5	7	≥10	DM88	prog.
ξ _s	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ _t	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0,18 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 1,60 (m)

Armatura:

Ø88,9 x 6,3

Area dell'armatura (A_{arm}): 1635 (mm²)

Area a foglio (A_{foglio}): (mm²)

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): 1,402E+06 (mm⁴)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): 31.549 (mm³)

Dimensione Armatura (l_{arm}): (mm)

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio (f_y): 355 (N/mm²)

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M: 1,05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): 338 (N/mm²)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210.000 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 20,0 (MN/m³)

Tipo di Terreno	Spessore l _{s_i} (m)	α (-)	Ds _i = α * D (m)	S _i media (MPa)	S _i minima (MPa)	S _i calcolo (MPa)	Q _{si} (kN)
Terreno veg.	0,60	1,00	0,18	0,000	0,000	0,000	0,00
Argilla limosa	6,00	1,00	0,18	0,020	0,020	0,010	36.19
	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

L_s = 6,60 (m) Q_l = 36,19 (kN)

Capacità portante di punta Q_p = %Punta * Q_l (consigliato 10-15%)

% Punta 0% Q_p = 0,00 (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

Q_{lim} = Q_b + Q_l F_s = Q_{lim} / N (F_s > 1)

Q_{lim} = 36,19 (kN) F_s = 1,19

CAPACITÀ PORTANTE PER INSTABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam.(b) ($b = k \cdot D_{arm}$): 1,78 (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot (b \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0,5} \quad \rightarrow \quad Pk = 1447,22 \text{ (MN)}$$

da cui $\eta = Pk / N$ (consigliato $\eta > 10$)

$$\eta = 41,35$$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):

(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b) \quad \text{dove} \quad b = 4 \sqrt{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$$\rightarrow \quad b = 1,322 \text{ (1/m)}$$

Pertanto il Momento Massimo è $M = 7,38$ (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 - Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$$

$$\sigma_{max} = 252,52 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad | \quad \sigma_{min} = -215,33 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau = 23,85 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{id} = 255,87 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \underline{\underline{\text{VERIFICA SODDISFATTA}}}$$

10. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto esposto si asserisce che le strutture sono state dimensionate nel rispetto della normativa vigente. Le calcolazioni esposte sono relative ad un predimensionamento e si rimanda alle successive fasi di progettazione per la trattazione sui dettagli costruttivi inerenti la prefabbricazione ed il montaggio.