

REGIONE PIEMONTE

Città Metropolitana di Torino



COMUNE DI BALME

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO CON INSTALLAZIONE RETI PARAVALANGHE A PROTEZIONE DELL'ABITATO

Proprietà: COMUNE DI BALME

Via Capoluogo n° 139 - 10070 Balme (TO)

p.iva 04960710012 c.f. 83002910012

RELAZIONE DI CALCOLO

STUDIO PROFESSIONALE

Architetto Roberto Musso

*Coassolo T.se Frazione San Pietro n° 36 Tel.349.68.29.111
c.f. MSSRRT93E29L219E - p.iva 12088960013
iscrizione Ordine Architetti di Torino al n° 10244*

Relazione di calcolo

Erdox Neve® - Fermane a mono ancoraggio



Data:

Progetto:

Erdox Neve Dk 450

Comune:

Regione e Provincia

Piemonte - Torino

Stato:

ITALIA

1. PREMESSA

Erdox Neve è una struttura metallica a monoancoraggio, adatta per D_k pari a 3,00/3,50 m 4,00/4,50 ed è realizzata interamente in acciaio zincato e non. Viene fornita ai clienti in kit di montaggio, parzialmente assemblata in stabilimento (il kit è quindi composto da pochissimi pezzi) e corredata di puntuali istruzioni che rendono estremamente semplice completare l'assemblaggio. Questa caratteristica, unitamente al peso ridotto, ne permette l'uso anche in situazioni geografiche estreme, oltre a consentire il trasporto in aree poco praticabili e a garantire la massima versatilità ed economicità.

1.1 Normativa di riferimento

L'analisi dei carichi agenti sulla struttura, dovuti alla pressione della neve, fa riferimento alla direttiva svizzera

- *"Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco" (Berna, 2007).*

La progettazione degli elementi strutturali è stata eseguita in conformità alle norme tecniche vigenti relative alle opere in acciaio:

- D.M. 17-01-2018 *"Norme Tecniche per le costruzioni"*;
- UNI EN 1993-1-1 *"Eurocodice 3" Progettazione delle strutture di acciaio Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*;
- UNI EN 1993-1-8 *"Eurocodice 3" Progettazione delle strutture di acciaio Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti*;
- UNI EN 12385-4 *"Funi di acciaio - Sicurezza"*;
- EN 10204:2004 *"Metallic products — Types of inspection documents"*.

1.2 Geometria della struttura

La struttura per consolidamento di terreni e versanti mono-ancoraggio è una struttura del tipo ad "ombrello" di dimensione frontale $b \times h$ atta a trattenere il terrapieno.

La struttura a croce, è formata da due travi in acciaio tipo HEB collegate al gambo orizzontale di lunghezza L .

Il gambo centrale è realizzato mediante un profilato tubolare (EN 10025-95 S235JR) ed è collegato al nodo centrale mediante un giunto sferico bloccato tramite un apposito chiavistello.

Dei tiranti in acciaio di rinforzo, realizzati con corde in acciaio di diametro riportato in relazione, sono posti come collegamento tra la croce e la testa del puntone e su tutto il perimetro a sostegno della rete.

La rete di tamponamento è costituita da due strati:

- rete principale, realizzata in trefoli di acciaio del diametro 8 mm, a maglia quadrata 300mm x 300mm;
- rete secondaria, tipo Maccaferri a doppia torsione con maglia cm 8x10.

In base alla modalità di posizionamento il sistema si distingue in:

- Erdox Verticale (D_k 4,50m)
- Erdox Orizzontale (D_k 4,00m)

In base all'entità della forza agente il sistema può essere:

- Erdox Semplice a 4 tiranti
- Erdox Rinforzato a 8 tiranti

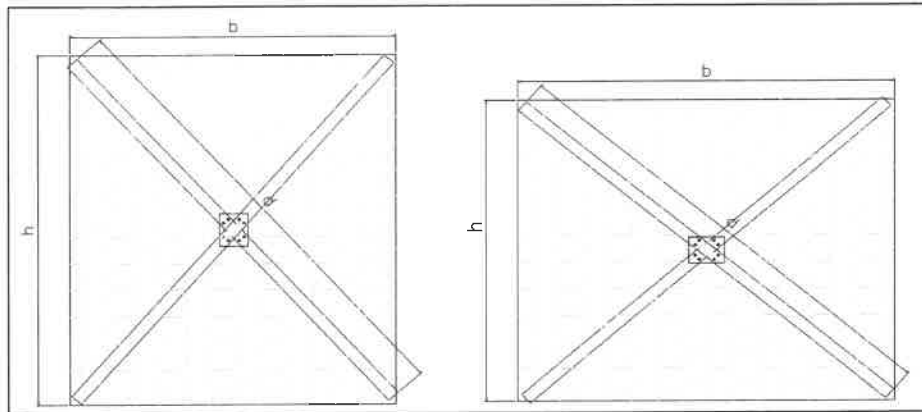


Figura 1: modalità di posizionamento sistema Erdox

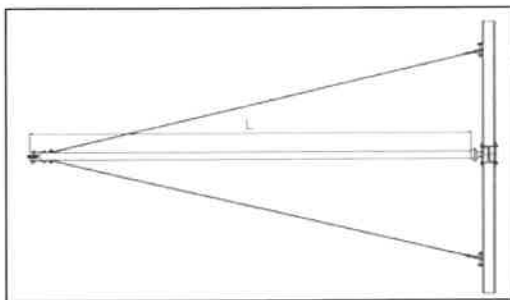


Figura 2: vista dall'alto sistema Erdox Semplice

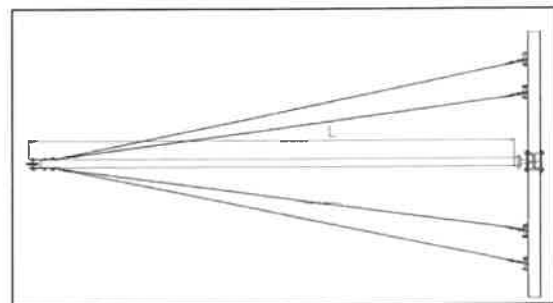


Figura 3: vista dall'alto sistema Erdox Rinforzati

1.3 Struttura in progetto

Tipo Erdox di progetto:		ERDOX VERTICALE
Altezza Erdox:	$h =$	<u>4.50 m</u>
Larghezza Erdox:	$b =$	<u>3.90 m</u>
Diagonale:	$d =$	<u>5.95 m</u>
Lunghezza Gambo:	$L =$	<u>5 m</u>

2. DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SULLE STRUTTURE

La pressione della neve su di un'opera di stabilizzazione viene calcolata facendo riferimento a "Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco" (Berna, 2007) e dipende dai seguenti fattori locali:

- ρ , densità media della neve;
- H , altezza verticale della neve sul posto dell'opera;
- K , fattore di scorrimento, dipendente dalla densità della neve e dalla pendenza del terreno;
- N , fattore di scivolamento, dipendente dal tipo di vegetazione, dalla rugosità del terreno e dalla sua esposizione al sole (art. 3.10.5);
- f_C , fattore d'altitudine, che caratterizza la dipendenza della densità dall'altitudine;
- f_R , fattore marginale, dipendente dagli intervalli laterali tra le opere (o, rispettivamente, dalla loro disposizione) e dal fattore di scivolamento.

La pressione della neve, agente nel piano verticale lungo la linea di massima pendenza, è generalmente composta dalla pressione dovuta allo smorzamento locale dello scorrimento (pressione di scorrimento) e dell'eventuale scivolamento (pressione di scivolamento).

2.0.1 Componente parallela al pendio della pressione della neve

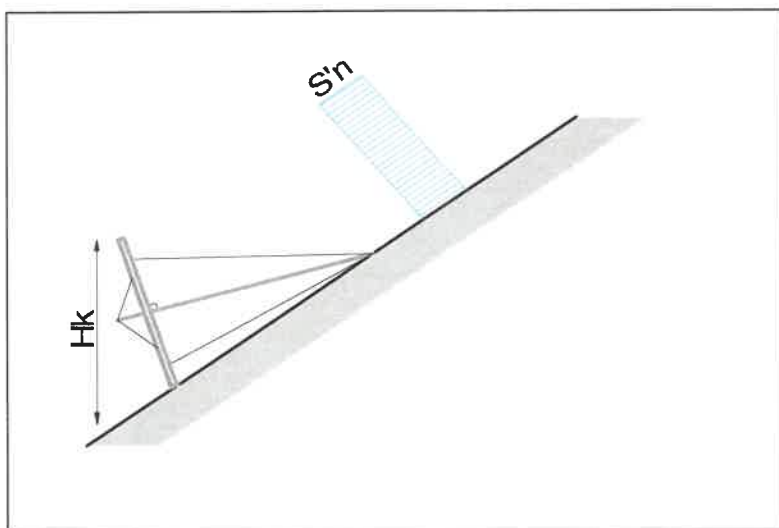
La componente parallela al pendio della pressione di scorrimento e di scivolamento su una superficie d'appoggio rigida, perpendicolare al pendio, con lunghezza illimitata lungo la linea di livello, è espressa da:

$$S'_N = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad [\text{kN/m}]$$

nella quale:

- S'_N componente parallela al pendio della pressione della neve per unità di lunghezza della superficie d'appoggio [kN/m];
- ρ densità media della coltre nevosa (dipendente dall'altitudine e dall'esposizione) [t/m³];
- g accelerazione di gravità terrestre (9.81 m/s²);
- H altezza verticale della neve [m];
- K fattore di scorrimento (dipendente dall'inclinazione ψ del pendio e dalla densità ρ);
- N fattore di scivolamento (art. 3.10.5).

S'_N viene generalmente considerata come uniformemente ripartita sull'altezza della griglia.



2.0.2 Componente normale al pendio del carico della neve

La componente normale al pendio, della pressione della neve su di una superficie d'appoggio rigida, perpendicolare al pendio, si presenta quando l'assessamento del pendio vi è impedito (aderenza, rugosità) :

$$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \operatorname{tg} \psi} \quad (\text{vedi art. 4.3 formula (12)})$$

$$\frac{a}{N \operatorname{tg} \psi} = \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{S'_Q}{S'_N} \quad (\text{vedi art. 4.3 formula (13)})$$

nelle quali:

- S'_Q componente, normale al pendio, della pressione della neve per unità di lunghezza della superficie d'appoggio;
- ε angolo formato dalla risultante della pressione della neve (somma vettoriale di S'_N e S'_Q e dalla parallela al pendio);
- a rapporto dipendente dalla qualità della neve (variabile tra 0.2 e 0.5).

2.0.3 Sovraccarico per superfici d'appoggio non perpendicolari al pendio

Se la superficie d'appoggio non è perpendicolare al pendio, si dovrà tener conto del peso G' di un prisma di neve compreso fra la superficie d'appoggio ed il piano perpendicolare al pendio.

$$G' = \rho \cdot g \cdot \frac{D^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (\text{vedi art. 4.4 formula (14)})$$

nella quale:

- G' peso del prisma di neve per unità di lunghezza (agente verticalmente);
- D spessore della neve, misurato perpendicolarmente al pendio;
- δ angolo tra la superficie d'appoggio e la perpendicolare al pendio;
- ρ densità della coltre nevosa.

2.0.4 Forze marginali

Se l'espansione laterale (lungo la linea di livello) della superficie d'appoggio è interrotta, subentrano sollecitazioni addizionali chiamate forze marginali poiché la neve ai lati della superficie può scorrere e l'effetto di ritenuta si manifesta oltre l'estremità dell'opera.

Le forze dipendono da tutti i fattori che determinano la pressione della neve su un'opera avente lunghezza infinita, nonché dalle dimensioni, dalle forme e dalle rugosità della superficie della griglia e, in particolare, dal fattore di scivolamento. Per semplificare il calcolo pratico, si assume un carico costante per metro lineare S'_R equivalente alle forze marginali, con lunghezza di applicazione Δl .

Il grado di efficacia η di un'opera di stabilizzazione (relativamente alle pressioni sopportate) può essere definito come il rapporto tra la pressione effettiva della neve, comprese le forze marginali, e la pressione della neve senza le forze marginali. (Vedi art. 4.5)

2.0.5 Spinte laterali

A seguito delle irregolarità del terreno e dell'innevamento, la risultante di tutte le forze agenti sulla superficie d'appoggio non passa sempre su un piano perpendicolare alla superficie d'appoggio: si dovrà quindi ipotizzare un carico laterale S_L parallelo alla linea di livello.

2.1 Determinazione delle spinte sulle strutture

Essendo, in questo caso, la struttura "Erdox neve" una particolare rete da neve con una superficie d'appoggio flessibile costituita da funi, la componente parallela al pendio della spinta viene calcolata considerando anche il fattore di riduzione f_s (dipendente da diverse cause):

$$S'_N = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \cdot f_c \cdot f_s \text{ [kN/m]}$$

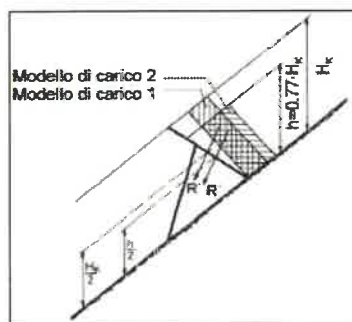
Nel presente caso, la barriera fermaneve viene verificata per :

Peso specifico della neve:	ρ	0.27	t/m ³
Altezza della neve (sulla normale al pendio)	D_K	4.00	m
Fattore di scivolamento	N	3.20	-
Fattore di scorrimento	k_A	0.76	-
Fattore di altitudine	f_c	1.02	-
Fattore di riduzione	f_s	0.80	-

La spinta così ottenuta risulta quindi:

S'N =	84.10 kN/m
--------------	-------------------

La normativa prevede la verifica della struttura in due ipotesi di carico:



COMB_1 Barriera completamente caricata

Il modello di carico 1 considera l'innnevamento completo della struttura con altezza della neve H_k .

COMB_2 Barriera caricata al 77% dell'altezza

Il modello di carico 2 considera l'innnevamento parziale dell'opera con un'altezza della neve h pari a $0,77 H_k$ e una risultante avente grandezza e direzione uguali a quelle del modello di carico 1.

Di conseguenza la pressione specifica della neve (kN/m²) è maggiore (aumento dato dal fattore $1/0,77=1,3$)

Rispetto al modello di carico 1, il modello 2 è caratterizzato dalle seguenti particolarità:

- il punto di applicazione della risultante viene a trovarsi più in basso, esattamente ad un'altezza $h/2=0,385 H_k$
- la pressione specifica della neve [kN/m²] è maggiore (aumento dato dal fattore $1/0,77=1,3$).

2.1.1 Erdox interni (per il calcolo effettuato rif. ALLEGATO 1)

COMB_1	$P_p =$	18.69 kN/m²
COMB_2	$P_p =$	24.27 kN/m²

2.1.2 Erdox marginali (per il calcolo effettuato rif. ALLEGATO 1)

In aggiunta alla pressione di scorrimento, quando si verificano gli elementi marginali, bisogna tener conto anche della pressione marginale P'_R :

COMB_1	$P_p =$	112.14 kN/m²
COMB_2	$P_p =$	145.63 kN/m²

2.2 Modellazione struttura e forze risultanti

Concettualmente, la barriera è schematizzabile con un reticolo di elementi strutturali costituenti una croce di S.Andrea, il carico gravante sulla quale viene supposto distribuito in modo lineare e suddiviso in quattro vettori gravanti sulle porzioni inferiori e superiori delle membrature in acciaio. Le forze agenti, relative alle combinazioni di carico considerate e il relativo calcolo effettuato sono di seguito riportate:

2.2.1 Erdox interni (per il calcolo effettuato per l'individuazione delle forze agenti sui nodi rif. ALLEGATO 1)

ASTE SUPERIORI	
COMB_1	84.36 KN
COMB_2	59.22 KN
ASTE INFERIORI	
COMB_1	84.36 KN
COMB_2	109.67 KN

La risultante della spinta risulta dunque essere pari a circa:

COMB	S =	337.80 KN
------	-----	-----------

2.2.2 Erdox marginali (per il calcolo effettuato per l'individuazione delle forze agenti sui nodi rif. ALLEGATO 1)

ASTE SUPERIORI	
COMB_1	239.69 KN
COMB_2	168.26 KN
ASTE INFERIORI	
COMB_1	239.69 KN
COMB_2	311.60 KN

La risultante della spinta risulta dunque essere pari a circa:

COMB	S =	648.76 KN
------	-----	-----------

La spinta S rappresenta la sollecitazione massima applicata alla struttura in esame. Su tale valore andranno verificati gli elementi costituenti la connessione a terra ed il relativo sistema di fondazione.

La risultante dei carichi agisce parallelamente al pendio.

A. ERDOX INTERNI

Per le strutture interne al paramento si adatterà la tipologia Erdox Semplice a 4 tiranti.

A.1 GEOMETRIA

A.1.1 Membrature principali

TIPO TRAVE:		HEB140
Lunghezza	$L =$	2977 mm
Lunghezza efficace	$L_o =$	5955 mm
Coeff. di lungh. Efficace	$\beta =$	2
Larghezza ali	$b =$	140 mm
Spessore ala	$t_f =$	12 mm
Altezza anima	$h =$	140 mm
Spessore anima	$t_w =$	7 mm
Raggio raccordo ala anima	$r =$	12 mm
Area lorda profilo	$A =$	4296 mm ²
Area resistente a taglio	$A_v =$	1308 mm ²
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,y} =$	215600 mm ³
Modulo di resistenza a rottura	$W_{pl,y} =$	245400 mm ³
Momento di inerzia asse y	$J_y =$	15090000 mm ⁴
Momento di inerzia asse z	$J_z =$	5497000 mm ⁴
Rigidità torsionale	$J_t =$	200600 mm ⁴
Rigidità torsionale second.	$J_w =$	22480000000 mm ⁶
Raggio d'inerzia asse y	$r_{y0} =$	59 mm
Raggio d'inerzia asse z	$r_{z0} =$	36 mm
PALO CENTRALE		
Lunghezza palo	$L =$	5.00 m
Tubo rettangolare rinforzato con montanti e barra diam. 24	$\Phi_o =$	100x150 mm
Spessore palo	$s =$	mm
TIRANTI		
Tipo cordino	$\Phi_o =$	16 mm
Resistenza di progetto	$R_{ud} =$	161.40 KN

A.1.2 Connessioni

NODO DI ANCORAGGIO ALLA BASE		
Diametro Φ del bullone	d_A	33
Spessore piastra	t	10 mm
Distanza dal bordo	e_{1a}	67.5 mm
Larghezza piastra	W	100 mm
Diametro Φ dei bulloni	$d_{B,C}$	27
Distanza dal bordo	e_{1b}	75 mm
Distanza tra i bulloni	p_1	125
Distanza dal bordo fondo tubo	e_{1c}	50 mm
NODO CENTRALE		
Diametro bullone	Φ_b	22 mm
Spessore piastra	t_P	10 mm
Distanza dal bordo	e_{1p}	80 mm
Distanza dal bordo esterno	e_{2p}	48 mm
Distanza dal bordo trave	e_{1t}	50 mm
Distanza dal bordo esterno trave	e_{2t}	30 mm

A.1.3 Tipo di fondazione

Il sistema di fondazione previsto per l'ancoraggio a terra della presente struttura è:
Il dimensionamento del tirante verrà eseguito seguendo le specifiche di progetto.

Tirante

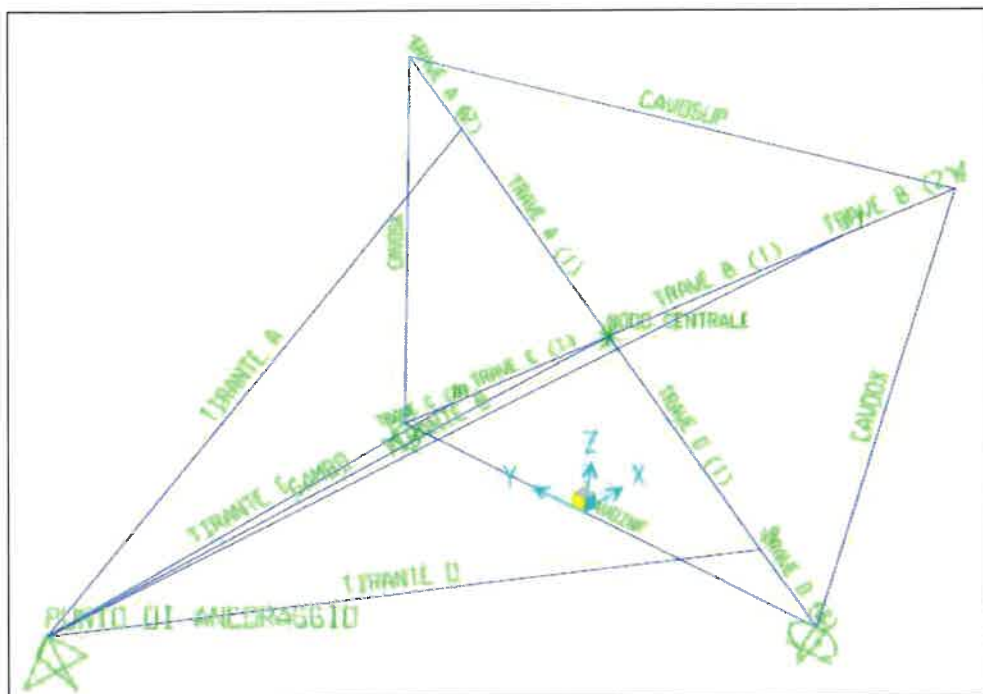
A.2 MATERIALI UTILIZZATI

ACCIAIO TRAVI:		S275JR
Resistenza a snervamento	f_y	275 N/mm ²
Resistenza ultima	f_u	430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.05
Modulo di elasticità lineare	E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale	G	80769 N/mm ²
ACCIAIO PIASTRE DI COLLEGAMENTO:		S275JR
Resistenza a snervamento	f_y	275 N/mm ²
Resistenza ultima	f_u	430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.05
Modulo di elasticità lineare	E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale	G	80769 N/mm ²
BULLONI ANCORAGGIO ALLA BASE (strutturale SB)		M8.8
Resistenza ultima	f_{tb}	800 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza connessioni	γ_{M1}	1.25
BULLONI NODO CENTRALE (strutturale HV)		M10.9
Resistenza ultima	f_{tb}	1000 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.25

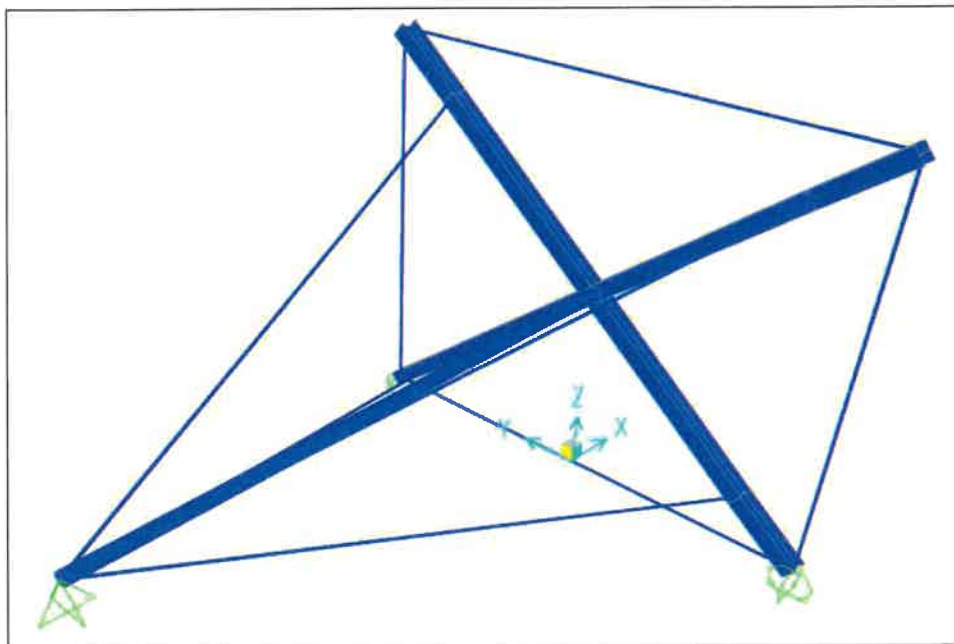
A.3 SOLLECITAZIONI RISULTANTI DELL'ANALISI

Le sollecitazioni utilizzate nella progettazione degli elementi della struttura Erdox sono stati ricavati mediante programma di calcolo agli elementi finiti, schematizzando in modo appropriato la struttura che verrà caricata in maniera tale che le sollecitazioni ottenute risultino essere il più possibile attinenti alla realtà.

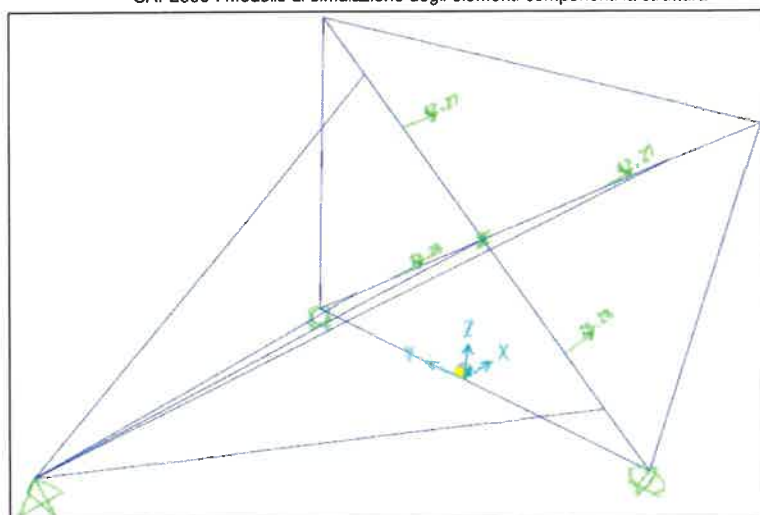
Sono di seguito riportate le sollecitazioni massime agenti sulle membrature della struttura relative alla combinazione di carico più gravosa.



SAP2000 : modello di simulazione degli elementi componenti la struttura

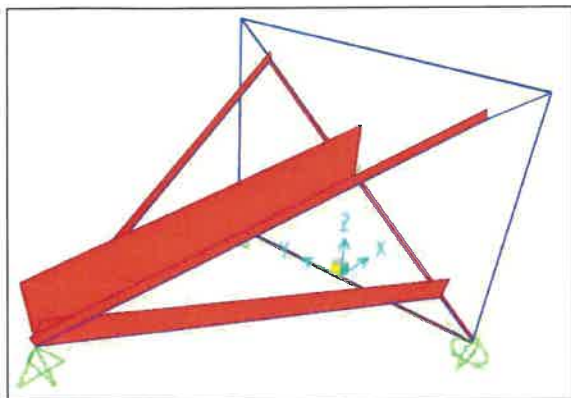


SAP2000 : modello di simulazione degli elementi componenti la struttura

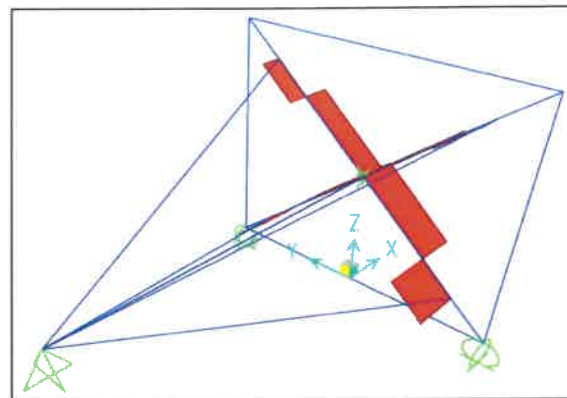


SAP2000 : modello di simulazione. Applicazione dei carichi risultanti dall'analisi

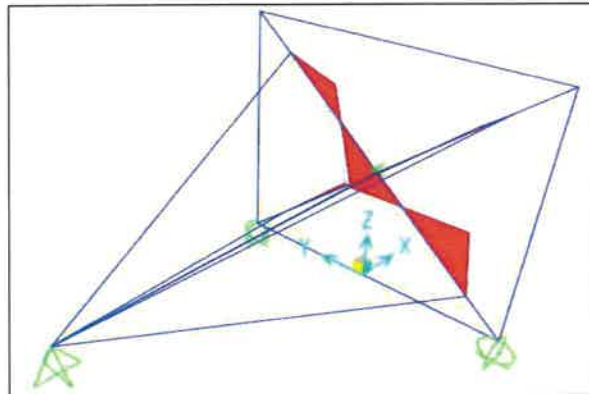
TRAVE A		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	15.71 kN
Momento	<i>MEd,y</i>	30.36 kNm
Taglio	<i>Ved</i>	32.51 kN
TRAVE B		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	15.71 kN
Momento	<i>MEd,y</i>	30.36 kNm
Taglio	<i>Ved</i>	40.42 kN
TRAVE C		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	15.71 kN
Momento	<i>MEd,y</i>	30.36 kNm
Taglio	<i>Ved</i>	60.39 kN
TRAVE D		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	15.71 kN
Momento	<i>MEd,y</i>	30.36 kNm
Taglio	<i>Ved</i>	60.39 kN
NODO CENTRALE		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	15.71 kN
Momento	<i>MEd,y</i>	30.36 kNm
Taglio	<i>Ved</i>	60.39 kN
TRAZIONE GAMBO		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	161.68 kN
TIRANTE A		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	46.05 kN
TIRANTE B		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	46.05 kN
TIRANTE C		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	64.25 kN
TIRANTE D		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	64.25 kN
PUNTO DI ANCORAGGIO		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	334.85 kN



modello SAP2000: azioni assiali



modello SAP2000: azioni di taglio



modello SAP2000: momento flettente

A.4 VERIFICHE ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche strutturali sono eseguite seguendo le disposizioni del cap. 4.2 "COSTRUZIONI IN ACCIAIO" del D.M. 14/01/2008.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il

"metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d > E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dij} = F_{kij} \cdot \gamma_{fij}$ delle azioni come indicato nel § 2.5.3, o direttamente

$E_{dij} = E_{kij} \gamma_{Ej}$ e nello specifico posto pari a 1 in assenza di particolari prescrizioni.

Infatti, per il calcolo delle spinte sulle strutture si è fatto riferimento alla normativa elvetica che già tiene conto di importanti parametri moltiplicativi. Di conseguenza l'applicazione di ulteriori fattori di sicurezza determinerebbe delle spinte eccessive, non reali e di fatto non credibili.

Si consideri a tale proposito l'esperienza della sperimentazione in campo dalla quale si evince chiaramente come l'applicazione della normativa elvetica determini dei valori di spinta sensibilmente superiori a quelli registrati in campo anche su valori di altezze di spinta molto contenuti. A titolo di esempio si riporta la tabella seguente, da cui si evince chiaramente l'incidenza esponenziale della differenza tra i valori delle azioni reali ed i valori calcolati, all'aumentare dello spessore del manto nevoso. Infatti, raddoppiando l'altezza, da test in sito la spinta si incrementa di un valore pari a circa il 30%, mentre da quanto previsto dalla normativa elvetica, a parità di altre condizioni, l'incremento risulta essere del 100% circa.

Tabella. Riferimento: relazione interpretativa tra le prove sul campo in vera grandezza effettuate ed il modello di calcolo teorico utilizzato per le verifiche di dimensionamento strutturale.

Periodo	Data	F(kN) da test in sito	F(kN) derivanti da calcolo teorico	Differenza
A	20 gennaio 2011	4.00	4.52	+13%
B	4 marzo 2011	5.23	9.04	+72%

Per tener conto di questi aspetti, il coefficiente è stato posto pari a $\gamma_{fj}=1$, mantenendo inalterati tutti i fattori di sicurezza introdotti dalla normativa elvetica. Le campagne sperimentali hanno ampiamente dimostrato la correttezza di questa scelta, registrando valori di pressione di gran lunga inferiore a quelli risultanti dal calcolo teorico.

A.4.1 Membrature principali

Travi in acciaio HE					
Azione tagliante massima	V_{Ed}	60.39	kN		
Momento flettente massimo di calcolo	M_{Ed}	30.36	kN		
Forza di compressione massima di calcolo	N_{Ed}	15.71	kN		
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{C,Rd}$	197.78	kN	OK	(4.2.31 N.T.C. '08)
Resistenza conv. di calc. a fless. retta	$M_{N,y,Rd}$	64.27	kNm	OK	(4.2.14 N.T.C. '08)
Resist. Di calcolo a compressione	$N_{p,Rd}$	1125.14	kNm	OK	(4.2.11 N.T.C. '08)
Verifiche di instabilità a pressoflessione					
NED gM1 / cy A fyk + kyy My,Ed gM1 / clt Wpl,y fyk	Metodo B	0.27	<1	OK	(C.4.2.37 N.T.C. '08)
NED gM1 / cz A fyk + kzy My,Ed gM1 / clt Wpl,y fyk	Metodo B	0.52	<1	OK	(C.4.2.37 N.T.C. '08)
NEDgM1/cyAfyk+Myeq,EdgM1/clt Wpl,y fyk(1-NED-Ncr,y)	Metodo A	0.55	<1	OK	(C.4.2.3.2 N.T.C. '08)
Saldatura piastra attacco grillo su trave					
Forza agente	$F_{Ed,w}$	64.25	kN		
Forza resistente di progetto	$F_{Rd,w}$	186.20	kN	OK	(4.2.77 N.T.C. '08)
Trazione sul grillo					
Forza di trazione del cordino	F_{tot}	64.25	kN		
Resistenza a rottura F.S.=1,25	F_{MAX}	130.00	kN	OK	Dati forniti dal produttore in accordo con EN 10204:2005
Fune inclinata Anima Metallica					
Forza di trazione del cordino	F_{tot}	64.25	kN		
Forza massima cordino		161.40	kN	OK	Prospetto 7 UNI EN 12385-4
Trazione agente sul gambo					
Forza agente	$N_{t,Ed}$	161.68	kN		
Resistenza plastica	$N_{pl,Rd}$	384.96	kN	OK	(4.2.7 N.T.C. '08)
Resistenza fragile	$N_{u,Rd}$	438.70	kN	OK	(4.2.8 N.T.C. '08)

A.4.2 Connessione di collegamento a terra

Taglio su bullone A di ancoraggio a terra				
Forza agente (Ftot/2)	F_v, Ed	167.43 kN		
Forza resistente a taglio	F_v, Rd	328.43 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Rifollamento piastra bullone A di ancoraggio a terra				
Forza agente (Ftot/2)	F_v, Ed	167.43 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b, Rd	174.57 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Taglio su bulloni B e C di ancoraggio su gambo				
Forza agente bullone B (Ftot/4)	$F_v, Ed B$	83.71 kN		
Forza agente bullone C (Ftot/8)	$F_v, Ed C$	41.86 kN		
Forza resistente a taglio	F_v, Rd	219.86 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Distanza bulloni B e C e rifollamento piastra				
Forza agente bullone B (Ftot/4)	$F_v, Ed B$	83.71 kN		
Forza agente bullone C (Ftot/4)	$F_v, Ed C$	41.86 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b, Rd	203.68 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1b > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza tra bulloni	$p1 > p1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Rifollamento gambo				
Forza agente (Ftot/2)	F_v, Ed	40.42 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b, Rd	56.84 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato e1c	$e1c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza tra bulloni	$p1 > p1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Trazione agente sulle piastre				
Forza agente	N_t, Ed	167.43 kN		
Resistenza plastica	N_{pl}, Rd	261.90 kN	OK	(4.2.7 N.T.C. '08)

A.4.3 Connessione al nodo centrale

Saldatura sfera agricola sulla piastra centrale				
Forza agente	$F_{Ed,w}$	161.68		
Forza resistente di progetto	$F_{Rd,w}$	436.54 kN	OK	(4.2.77 N.T.C. '08)
Bulloni su nodo centrale				
Forza tagliante totale sui bulloni	F_v,Ed	116.27 kN		
Forza di trazione sui bulloni	F_t,Ed	20.21 kN		
Resistenza a taglio bullone nodo centrale	F_v,Rd	151.98 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Resistenza a trazione bullone nodo centrale	F_t,Rd	273.56 kN	OK	(4.2.62 N.T.C. '08)
Verifica combinata bulloni con taglio e trazione	<1	0.82	OK	(4.2.65 N.T.C. '08)
Distanza e rifollamento piastra nodo centrale				
Forza tagliante totale sui bulloni	F_v,Ed	116.27 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b,Rd	189.20 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza e rifollamento sull'ala della trave HE				
Forza tagliante totale sui bulloni	F_v,Ed	116.27 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b,Rd	120.73 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2c > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)

A.4.4 Risultati

Tutte le verifiche effettuate sui componenti della struttura esaminata sono soddisfatte con ampio margine di sicurezza.

A.5 VERIFICA DELLA RESISTENZA DELLA FONDAZIONE

Il tirante previsto, a seconda delle combinazioni di carico, dovrà essere dimensionato per resistere ai seguenti tiri massimi:

Combinazione 1 (A1+M1+R1)	334.85 kN
Combinazione 2 (A2+M2+R2)	334.85 kN

B. ERDOX MARGINALI

Per le strutture esterne al paramento si adatterà la tipologia Erdox Rinforzato a 8 tiranti.

B.1 GEOMETRIA

B.1.1 Membrature principali

TIPO TRAVE:	HEB160	
Lunghezza	$L =$	2977 mm
Lunghezza efficace	$L_o =$	5955 mm
Coeff. di lungh. Efficace	$\beta =$	2
Larghezza ali	$b =$	160 mm
Spessore ala	$t_f =$	13 mm
Altezza anima	$h =$	160 mm
Spessore anima	$t_w =$	8 mm
Raggio raccordo ala anima	$r =$	15 mm
Area lorda profilo	$A =$	5425 mm ²
Area resistente a taglio	$A_v =$	1759 mm ²
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,y} =$	311500 mm ³
Modulo di resistenza a rottura	$W_{pl,y} =$	354000 mm ³
Momento di inerzia asse y	$J_y =$	24920000 mm ⁴
Momento di inerzia asse z	$J_z =$	8892000 mm ⁴
Rigidezza torsionale	$J_t =$	312400 mm ⁴
Rigidezza torsionale second.	$J_w =$	47940000000 mm ⁶
Raggio d'inerzia asse y	$r_{y0} =$	68 mm
Raggio d'inerzia asse z	$r_{z0} =$	41 mm
PALO CENTRALE		
Lunghezza palo	$L =$	5.00 m
Tubazione rettangolare rinforzata con montanti e barra diam. 24	$\Phi_e =$	100x150 mm
Spessore palo	$s =$	5 mm
TIRANTI		
Tipo cordino	$\Phi_e =$	6x19 AM mm
Resistenza di progetto	$R_{ud} =$	161.40 KN

B.1.2 Connessioni

NODO DI ANCORAGGIO ALLA BASE

Diametro Φ del bullone A	d_A	33
Spessore piastra	t	15 mm
Distanza dal bordo	e_{1a}	67.5 mm
Larghezza piastra	W	100 mm
Diametro Φ dei bulloni B e C	$d_{B,C}$	27 mm
Distanza tra i bulloni B e C	p_{BC}	125
Diametro Φ del bullone D	Dd	27 mm
Distanza dal bordo del bullone D	e_{1b}	75 mm

NODO CENTRALE

Diametro bullone	Φ_b	22 mm
Spessore piastra	t_P	10 mm
Distanza dal bordo	e_{1p}	60 mm
Distanza dal bordo esterno	e_{2p}	40 mm
Distanza dal bordo trave	e_{1t}	50 mm
Distanza dal bordo esterno trave	e_{2t}	40 mm

B.1.3 Tipo di fondazione

Il sistema di fondazione previsto per l'ancoraggio a terra della presente struttura è:

Tirante

Il dimensionamento del tirante verrà eseguito seguendo le specifiche di progetto.

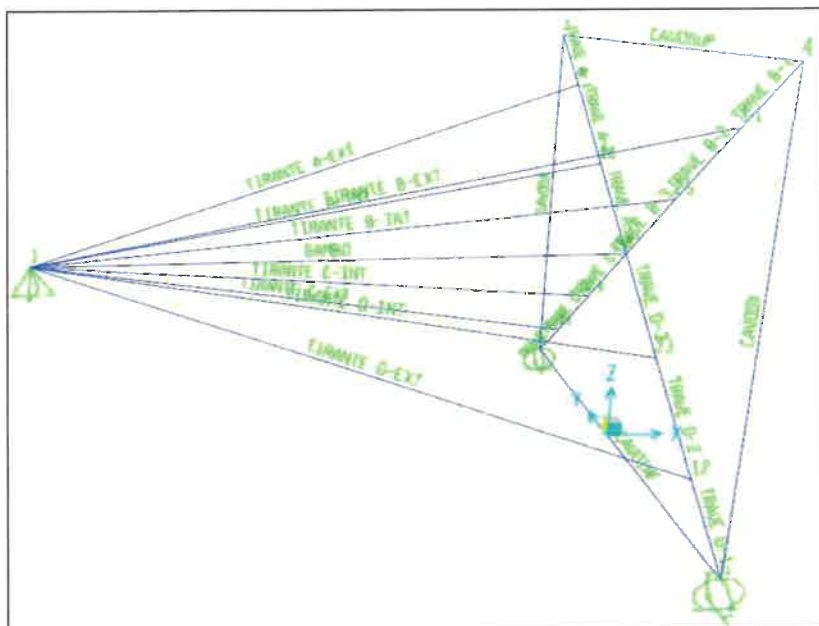
B.2 MATERIALI UTILIZZATI

ACCIAIO TRAVI:		S275JR
Resistenza a snervamento	f_y	275 N/mm ²
Resistenza ultima	f_u	430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.05
Modulo di elasticità lineare	E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale	G	80769 N/mm ²
ACCIAIO PIASTRE DI COLLEGAMENTO:		S275JR
Resistenza a snervamento	f_y	275 N/mm ²
Resistenza ultima	f_u	430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.05
Modulo di elasticità lineare	E	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale	G	80769 N/mm ²
BULLONI ANCORAGGIO ALLA BASE (strutturale SB)		M8.8
Resistenza ultima	f_{tb}	800 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza connessioni	γ_{M1}	1.25
BULLONI NODO CENTRALE (strutturale HV)		M10.9
Resistenza ultima	f_{tb}	1000 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ_{M1}	1.25

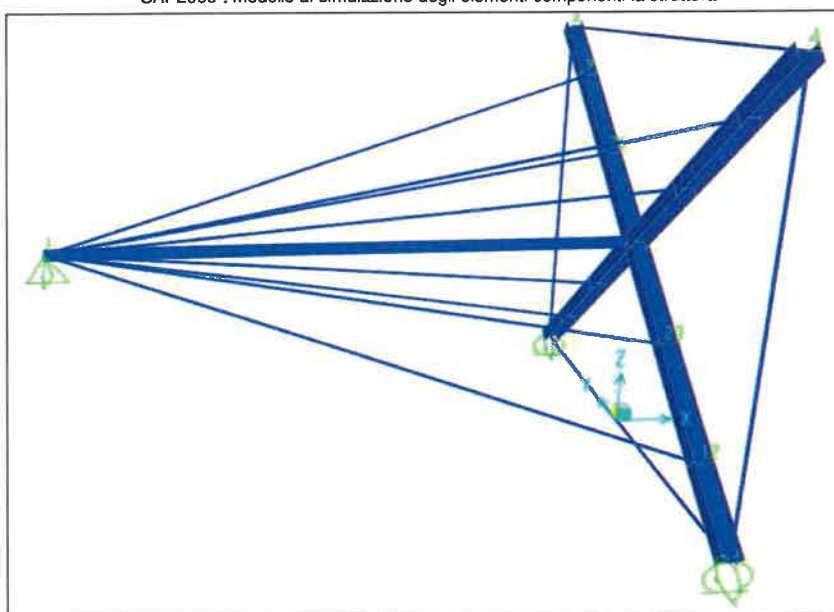
B.3 SOLLECITAZIONI RISULTANTI DELL'ANALISI

Le sollecitazioni utilizzate nella progettazione degli elementi della struttura Erdox sono stati ricavati mediante programma di calcolo agli elementi finiti, schematizzando in modo appropriato la struttura che verrà caricata in maniera tale che le sollecitazioni ottenute risultino essere il più possibile attinenti alla realtà.

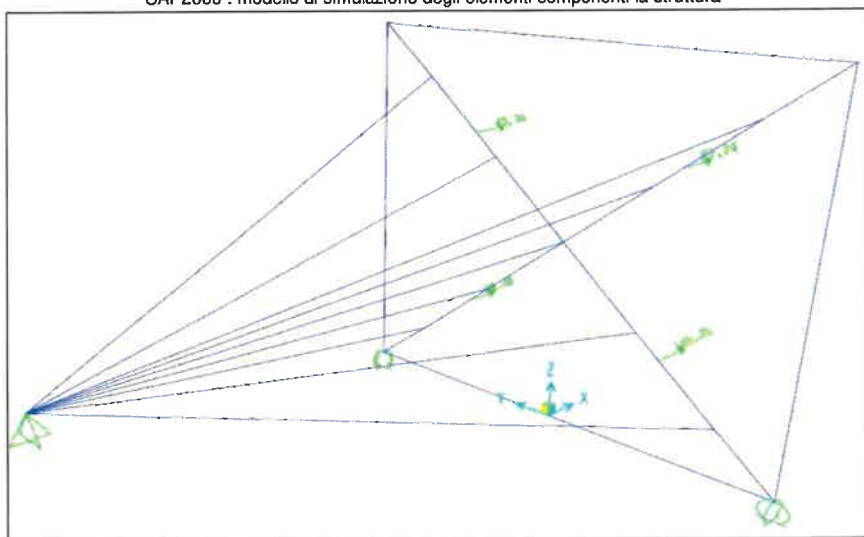
Sono di seguito riportate le sollecitazioni massime agenti sulle membrature della struttura relative alla combinazione di carico più gravosa.



SAP2000 : modello di simulazione degli elementi componenti la struttura

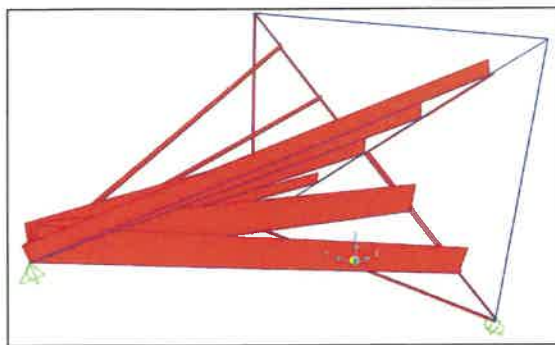


SAP2000 : modello di simulazione degli elementi componenti la struttura

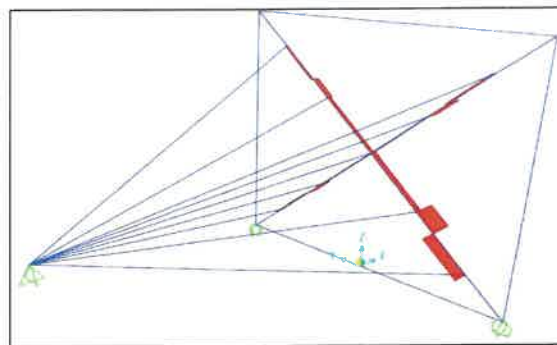


SAP2000 : modello di simulazione. Applicazione dei carichi risultanti dall'analisi

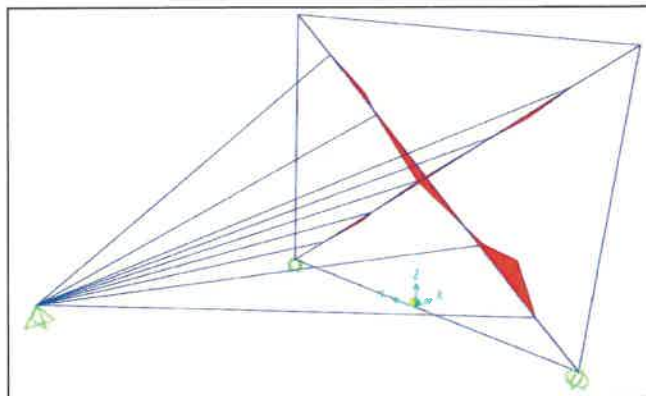
TRAVE A		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 8.57
Momento	<i>MEd,y</i>	kNm 34.42
Taglio	<i>Ved</i>	kN 45.06
TRAVE B		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 42.57
Momento	<i>MEd,y</i>	kNm 34.27
Taglio	<i>Ved</i>	kN 106.4
TRAVE C		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 13.93
Momento	<i>MEd,y</i>	kNm 23.95
Taglio	<i>Ved</i>	kN 72.15
TRAVE D		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 69.48
Momento	<i>MEd,y</i>	kNm 65.81
Taglio	<i>Ved</i>	kN 192.4
NODO CENTRALE		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 69.48
Momento	<i>MEd,y</i>	kNm 29.17
Taglio	<i>Ved</i>	kN 60.47
TRAZIONE GAMBO		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 162.2
TIRANTE A EXT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 15.21
TIRANTE B EXT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 67.23
TIRANTE C EXT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 40.7
TIRANTE D EXT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 129.5
TIRANTE A INT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 11.02
TIRANTE B INT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 71.93
TIRANTE C INT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 43.05
TIRANTE D INT		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 135
PUNTO DI ANCORAGGIO		
Sforzo assiale	<i>Ned</i>	kN 648.8



modello SAP2000: azioni assiali



modello SAP2000: azioni di taglio



modello SAP2000: momento flettente

B.4 VERIFICHE ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche strutturali sono eseguite seguendo le disposizioni del cap. 4.2 "COSTRUZIONI IN ACCIAIO" del D.M. 14/01/2008.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il

"metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d > E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dij} = F_{ki} \cdot \gamma_{fi}$ delle azioni come indicato nel § 2.5.3, o direttamente

$E_{dij} = E_{ki} \gamma_{fi}$ e nello specifico posto pari a 1 in assenza di particolari prescrizioni.

Infatti, per il calcolo delle spinte sulle strutture si è fatto riferimento alla normativa elvetica che già tiene conto di importanti parametri moltiplicativi. Di conseguenza l'applicazione di ulteriori fattori di sicurezza determinerebbe delle spinte eccessive, non reali e di fatto non credibili.

Si consideri a tale proposito l'esperienza della sperimentazione in campo dalla quale si evince chiaramente come l'applicazione della normativa elvetica determini dei valori di spinta sensibilmente superiori a quelli registrati in campo anche su valori di altezze di spinta molto contenuti. A titolo di esempio si riporta la tabella seguente, da cui si evince chiaramente l'incidenza esponenziale della differenza tra i valori delle azioni reali ed i valori calcolati, all'aumentare dello spessore del manto nevoso. Infatti, raddoppiando l'altezza, da test in sito la spinta si incrementa di un valore pari a circa il 30%, mentre da quanto previsto dalla normativa elvetica, a parità di altre condizioni, l'incremento risulta essere del 100% circa.

Tabella. Riferimento: relazione interpretativa tra le prove sul campo in vera grandezza effettuate ed il modello di calcolo teorico utilizzato per le verifiche di dimensionamento strutturale.

Periodo	Data	F(kN) da test in sito	F(kN) derivanti da calcolo teorico	Differenza
A	20 gennaio 2011	4.00	4.52	+13%
B	4 marzo 2011	5.23	9.04	+72%

Per tener conto di questi aspetti, il coefficiente è stato posto pari a $\gamma_{fi}=1$, mantenendo inalterati tutti i fattori di sicurezza introdotti dalla normativa elvetica. Le campagne sperimentali hanno ampiamente dimostrato la correttezza di questa scelta, registrando valori di pressione di gran lunga inferiore a quelli risultanti dal calcolo teorico.

B.4.1 Membrature principali

Travi in acciaio HE					
Azione tagliante massima	<i>VEd</i>	192.44	<i>kN</i>		
Momento flettente massimo di calcolo	<i>MEd</i>	65.81	<i>kN</i>		
Forza di compressione massima di calcolo	<i>NEd</i>	32.62	<i>kN</i>		
Resistenza di calcolo a taglio	<i>VC,Rd</i>	265.98	<i>kN</i>	OK	(4.2.31 N.T.C. '08)
Resistenza a flessione retta	<i>MN,y,Rd</i>	74.19	<i>kNm</i>	OK	(4.2.14 N.T.C. '08)
Resistenza a pressoflessione	<i>Npl,Rd</i>	1136.90	<i>kNm</i>	OK	(4.2.11 N.T.C. '08)
Verifiche di instabilità a pressoflessione					
<i>NEd gM1 / cy A fyk + kyy My,Ed gM1 / clt Wpl,y fyk</i>	<i>Metodo B</i>	0.39	<1	OK	(C.4.2.37 N.T.C. '08)
<i>NEd gM1 / cz A fyk + kzy My,Ed gM1 / clt Wpl,y fyk</i>	<i>Metodo B</i>	0.74	<1	OK	(C.4.2.37 N.T.C. '08)
<i>NEdgM1/cyAfyk+Myeq,EdgM1/clt Wpl,y fyk(1-NEd-Ncr,y)</i>	<i>Metodo A</i>	0.81	<1	OK	(C.4.2.3,2 N.T.C. '08)
Saldatura piastra attacco grillo su trave					
Forza agente	<i>FEd,w</i>	135.04	<i>kN</i>		
Forza resistente di progetto	<i>FRd,w</i>	186.20	<i>kN</i>	OK	(4.2.77 N.T.C. '08)
Trazione sul grillo					
Forza di trazione del cordino	<i>Ftot</i>	135.04	<i>kN</i>		
Resistenza a rottura F.S.=1,25	<i>FMAX</i>	136.00	<i>kN</i>	OK	Dati forniti dal produttore in accordo con EN 10204:2005
Fune inclinata Anima Metallica					
Forza di trazione del cordino	<i>Ftot</i>	135.04	<i>kN</i>		
Forza massima cordino	<i>0</i>	161.40	<i>kN</i>	OK	Prospetto 7 UNI EN 12385-4
Trazione agente sul gambo					
Forza agente	<i>Nt,Ed</i>	162.19	<i>kN</i>		
Resistenza plastica	<i>Npl,Rd</i>	384.96	<i>kN</i>	OK	(4.2.7 N.T.C. '08)
Resistenza fragile	<i>Nu,Rd</i>	438.70	<i>kN</i>	OK	(4.2.8 N.T.C. '08)

B.4.2 Connessione di collegamento a terra

Taglio su bullone A di ancoraggio a terra				
Forza agente (Ftot/2)	F_v, Ed	324.38 kN		
Forza resistente a taglio	F_v, Rd	328.43 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Rifollamento piastra bullone A di ancoraggio a terra				
Forza agente (Ftot/2)	F_v, Ed	324.38 kN		
Distanza bordo sollecitato	$e1 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Taglio su bulloni B e C di ancoraggio su gambo				
Forza agente bullone B (Ftot/4)	$F_v, Ed B$	162.19 kN		
Forza agente bullone C (Ftot/12)	$F_v, Ed C$	181.76 kN		
Forza resistente a taglio	F_v, Rd	219.86 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Distanza bulloni B e C e rifollamento piastra				
Forza agente bullone B (Ftot/4)	$F_v, Ed B$	162.19 kN		
Forza agente bullone C (Ftot/4)	$F_v, Ed C$	181.76 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b, Rd	305.53 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1b > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza tra bulloni	$p1 > p1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Taglio sul bullone D per aggancio cordini interni				
Forza agente bullone D (2 x Fint)	$F_v, Ed D$	202.16 kN		
Forza resistente a taglio	F_v, Rd	219.86 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Rifollamento gambo per aggancio bullone D				
Forza agente sul bullone nel gambo	F_v, Ed	202.16 kN		
Resistenza al rifollamento	F_b, Rd	388.80 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Trazione agente sulle piastre				
Forza agente	N_t, Ed	324.38 kN		
Resistenza plastica	N_{pl}, Rd	392.86 kN	OK	(4.2.7 N.T.C. '08)

B.4.3 Connessione al nodo centrale

Saldatura sfera agricola sulla piastra centrale				
Forza agente	$F_{Ed,w}$	162.19 kN		
Forza resistente di progetto	$F_{Rd,w}$	436.54 kN	OK	(4.2.77 N.T.C. '08)
Bulloni su nodo centrale				
Forza tagliante totale sui bulloni	$F_{v,Ed}$	125.90 kN		
Forza di trazione sui bulloni	$F_{t,Ed}$	20.27 kN		
Resistenza a taglio bullone nodo centrale	$F_{v,Rd}$	151.98 kN	OK	(4.2.59 N.T.C. '08)
Resistenza a trazione bullone nodo centrale	$F_{t,Rd}$	273.56 kN	OK	(4.2.62 N.T.C. '08)
Verifica combinata bulloni con taglio e trazione	<1	0.88	OK	(4.2.65 N.T.C. '08)
Distanza e rifollamento piastra nodo centrale				
Forza tagliante totale sui bulloni	$F_{v,Ed}$	125.90 kN		
Resistenza al rifollamento	$F_{b,Rd}$	161.02 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza e rifollamento sull'ala della trave HE				
Forza tagliante totale sui bulloni	$F_{v,Ed}$	125.90 kN		
Resistenza al rifollamento	$F_{b,Rd}$	174.44 kN	OK	(4.2.6.1 N.T.C. '08)
Distanza bordo sollecitato	$e1 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)
Distanza bordo laterale	$e2 > e1min$		OK	(Tab. 4.2.XIII N.T.C. '08)

B.4.4 Risultati

Tutte le verifiche effettuate sui componenti della struttura esaminata sono soddisfatte con ampio margine di sicurezza.

B.5 VERIFICA DELLA RESISTENZA DELLA FONDAZIONE

Il tirante previsto, a seconda delle combinazioni di carico, dovrà essere dimensionato per resistere ai seguenti tiri massimi: "La verifica necessaria affinché la piastra sia in grado di contrastare la spinta orizzontale gravante è:

Combinazione 1 (A1+M1+R1)	648.76 kN
Combinazione 2 (A2+M2+R2)	648.76 kN

CONCLUSIONI E PRECISAZIONI

Tutte le verifiche effettuate sui componenti della struttura esaminata sono soddisfatte con ampio margine di sicurezza.

Sarà cura del committente eseguire la verifica globale della stabilità del versante.

I carichi e i parametri nivologici e geotecnici utilizzati sono quelli forniti dalla committenza e andranno verificati e confermati in sito, sarà cura della direzione lavori verificare assieme al geologo la corrispondenza dei dati di calcolo.

Il progettista è sollevato dalla responsabilità nel caso in cui non dovesse esserci la corrispondenza tra le proprietà dei materiali prescritte dai calcoli ed il materiale utilizzato in sito.

Il Progettista

Trento

Ing. Vittorino Betti