

PROGETTO PROJEKT	PROGETTO DI ADEGUAMENTO SCUOLA MEDIA "ADA NEGRI" OPERE COMPLEMENTARI RIFACIMENTO COPERTURA ANPASSUNGSPROJEKT DER MITTELSCHULE ADA NEGRI KOMPLEMENTÄRE ARBEITEN NEU GESTALTUNG DES DACHES	
COMMITTENTE BAUHERR	COMUNE DI BOLZANO edilizia scolastica GEMEIDE BOZEN schulbau	
PROGETTISTA PROJEKTANT	Ing. Claudio Scanavini Via A. Diaz 20 – 39100 Bolzano Telefono 0471.284174 Fax 0471.409742 E-mail claudio.scanavini@tin.it	

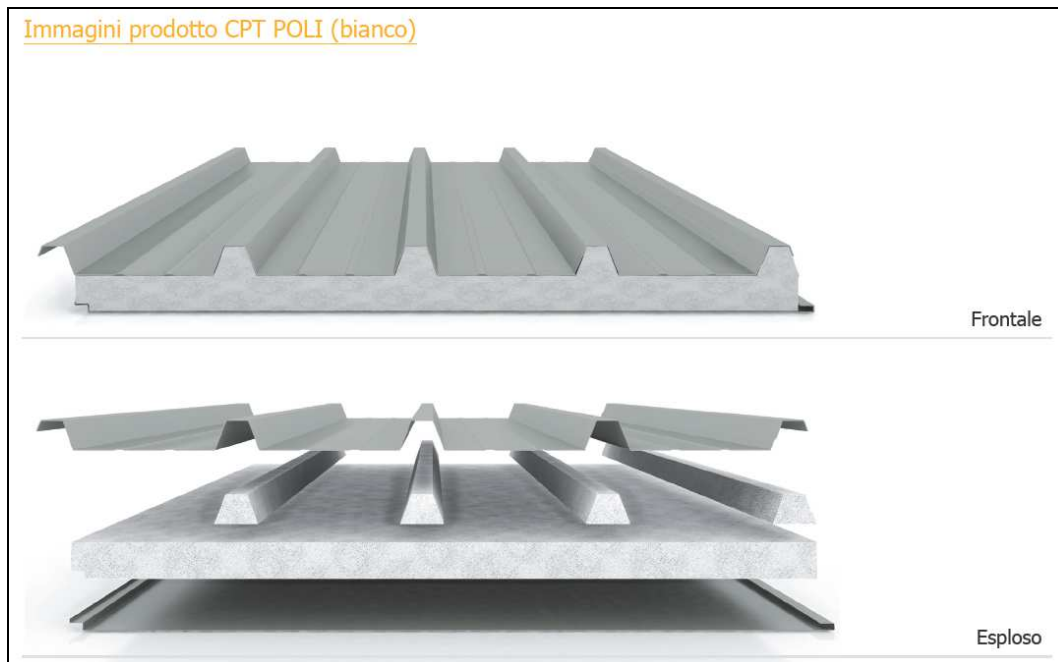


PARTE D'OPERA BAUTEIL	RELAZIONE DI CALCOLO STATISCHE BERECHNUNG	<b>ST-06</b>
	<b>BOLZANO          BOZEN</b>	DATA:            DATUM: AGOSTO 2014 AUGUST 2014

## 1. INTRODUZIONE

L'intervento consiste nella sostituzione dell'ultimo strato del solaio di copertura della scuola Ada Negri installando un pannello sandwich al posto della attuale lamiera grecata.

Si adotta il seguente tipo di pannello: lamiera interna + isolante + lamiera grecata esterna:



Per quanto riguarda l'analisi dei carichi si può affermare che non si hanno variazioni di peso significative in quanto la sostituzione da lamiera grecata a lamiera grecata coibentata comporta una variazione di peso ridotta rispetto all'intero pacchetto dell'ultimo solaio (inteso come solaio strutturale + sottofondo + muricci + lamiera di copertura)

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento viene eseguito secondo il criterio semiprobabilistico degli stati limite, in base ai metodi previsti dal:

- DECRETO MINISTERIALE DEL 14/01/08: "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare n.617 del 06/02/09 Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- UNI-ENV 1992-1-1 Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI-ENV 1993-1-1 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

## 3. METODO DI CALCOLO

Lo studio delle strutture è stato eseguito secondo i metodi della scienza delle costruzioni in regime elastico lineare. La ricerca dei parametri di sollecitazione è avvenuta secondo le disposizioni e le combinazioni di carico più gravose avvalendosi di metodi di calcolo manuali ed analisi agli elementi finiti per l'analisi strutturale.

#### 4. MATERIALI IMPIEGATI

##### Acciaio S235 per carpenteria metallica

- Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 3600 \text{ kg/cm}^2$
- Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 2350 \text{ kg/cm}^2$
- Tensione ammissibile	$\sigma_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$
- Resistenza di progetto $t < 40\text{mm}$	$f_{s,d} = 2350 \text{ kg/cm}^2$
- Resistenza di progetto $t > 40\text{mm}$	$f_{s,d} = 2150 \text{ kg/cm}^2$
- Modulo elastico convenzionale	$E_s = 2.060.000 \text{ kg/cm}^2$

#### 5. ANALISI DEI CARICHI E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

L'analisi dei carichi sulla sovrastruttura dei pannelli prevede:

- peso proprio pannello coibentato sp 8 cm	=	18,50	$\text{kN/m}^2$
- peso permanente	=	0,00	$\text{kN/m}^2$
- sovraccarico accidentale (manutenzione)	=	0,50	$\text{kN/m}^2$
- sovraccarico accidentale (neve)	=	1,26	$\text{kN/m}^2$

##### Coefficienti di combinazione

		A1	A2
- carichi permanenti (pesi propri)	=	$1 \div 1,3$	1
- carichi permanenti non strutturali	=	$0 \div 1,5$	$0 \div 1,3$
- carichi variabili	=	$0 \div 1,5$	$0 \div 1,3$

## CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

●	<b>Zona I - Alpina</b> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona I - Mediterranea</b> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona II</b> 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.	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona III</b> 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.	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/mq])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$\mu_i$  (coefficiente di forma)

$q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])

$C_E$  (coefficiente di esposizione)

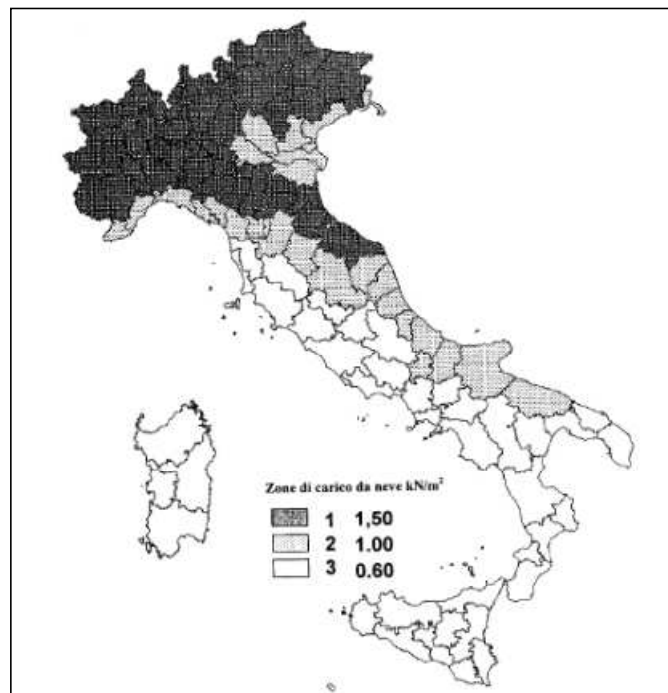
$C_t$  (coefficiente termico)

### Valore caratteristico della neve al suolo

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	262
$q_{sk}$ (val. caract. della neve al suolo [kN/mq])	1,57

### Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.



### Coefficiente di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

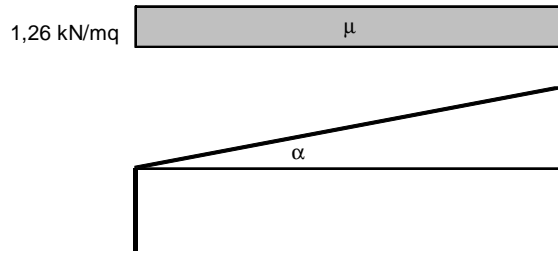
### Valore del carico della neve al suolo

$q_s$ (carico della neve al suolo [kN/mq])	1,57
--	------

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	26
-----------------------------------	----

$\mu$	0,8
-------	-----

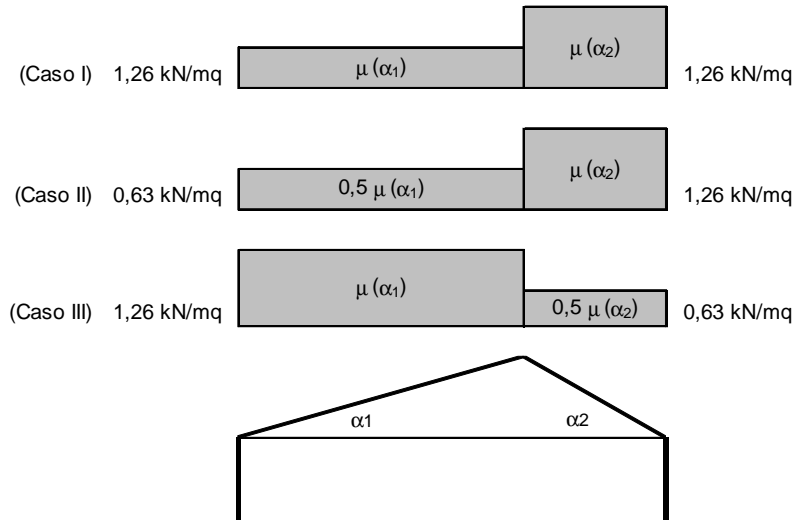


Coefficiente di forma (copertura a due falde)

$\alpha_1$ (inclinazione falda [°])	21,8
$\alpha_2$ (inclinazione falda [°])	21,8

$\mu (\alpha_1)$	0,8
------------------	-----

$\mu (\alpha_2)$	0,8
------------------	-----



L'azione del vento viene valutata oltre che come azione normale (di pressione o depressione) alle superfici, viene anche valutata l'azione tangenziale (vento radente).

**Determinazione pressione del vento:**

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)

Zona	v <sub>b,0</sub> [m/s]	a <sub>0</sub> [m]	k <sub>a</sub> [1/s]
1	25	1000	0,01

a <sub>s</sub> (altitudine sul livello del mare [m])	262
--	-----

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

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

v <sub>b</sub> (velocità di riferimento [m/s])	25
--	----

p (pressione del vento [N/mq]) = q<sub>b</sub> · c<sub>e</sub> · c<sub>p</sub> · c<sub>d</sub>  
 q<sub>b</sub> (pressione cinetica di riferimento [N/mq])  
 c<sub>e</sub> (coefficiente di esposizione)  
 c<sub>p</sub> (coefficiente di forma)  
 c<sub>d</sub> (coefficiente dinamico)



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

q <sub>b</sub> [N/mq]	390,63
-----------------------	--------

Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aero dinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

B) Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa		500m		750m	
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	costa		500m		
	mare				
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	costa		
	mare		
	1,5 km	0,5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	costa	
	mare	
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

z altezza edif. [m]	Zona	Classe di rugosità	a <sub>s</sub> [m]
12	1	B	262

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

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

Cat. Esposiz.	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]	c <sub>t</sub>
IV	0,22	0,3	8	1

c <sub>e</sub>	1,91
----------------	------

La pressione del vento a meno del coefficiente di forma vale: 745,47 N/mq (0,7454 kN/mq)



## 6. VERIFICA PORTATA DEI PANNELLI

Di seguito si riporta la verifica di portata del pannello in funzione dello schema statico e della luce di calcolo.

A seguito della scelta di un pannello di spessore 80 mm ed avendo l'interasse tra i muricci di circa 1,00 m e con schema statico di campata singola in semplice appoggio si ha che la portata di 250kg/m<sup>2</sup> del pannello è maggiore del carico da neve previsto dalla normativa pari a 126kg/m<sup>2</sup>.

### System CPT POLI - System CPT POLI NEOPOR

SPESSORI LAMIERA		TABELLA CARICHI SYSTEM CPT POLI DS 30 Kg/m <sup>3</sup>									
		DISTANZA IN METRI									
		sp./t. mm	PESO PANNELLO	▲ ▲ ▲ ▲				▲ ▲			
06 + 06	Kg/m <sup>2</sup>	metri	2,00	2,50	3,00	3,50	2,00	2,50	3,00	3,50	
50	15,80	Kg/m <sup>2</sup>	300	200	140	100	240	150	120	80	
60	16,70	Kg/m <sup>2</sup>	310	205	150	115	245	155	125	90	
80	18,50	Kg/m <sup>2</sup>	325	215	160	130	250	160	130	100	
100	20,30	Kg/m <sup>2</sup>	330	220	165	140	260	170	135	105	

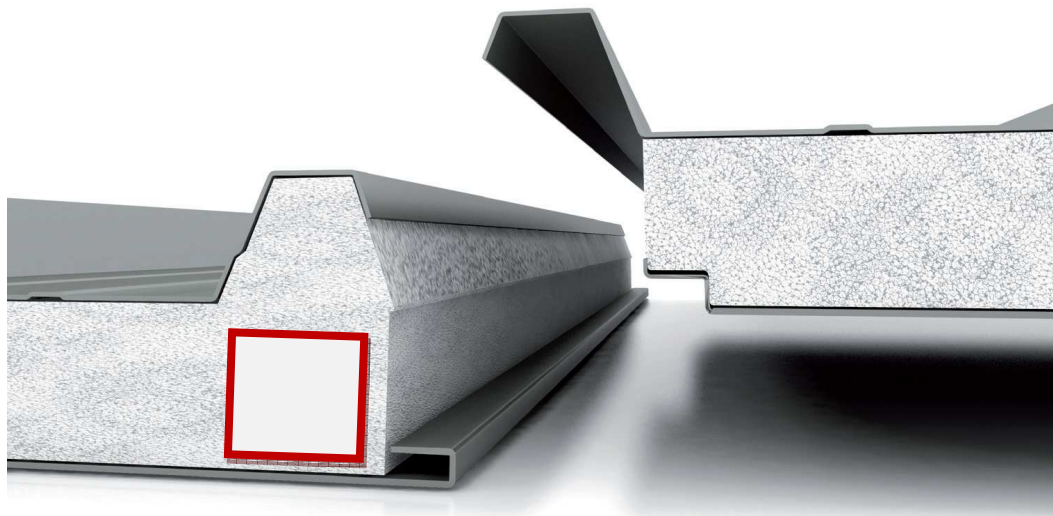
I valori garantiti dalla tabella si ritengono in funzione di un sovraccarico Kg/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito e sono calcolati in modo da garantire una freccia ≤ 1/200 e un coefficiente di sicurezza 2,5 rispetto al momento di rottura.

Per evitare un effetto “domino” dei muricci le sommità di questi vengono bloccate attraverso una scarpetta collegata a dei puntoni longitudinali.

L'azione assunta per la valutazione delle forze che gravano sugli irrigidimenti è l'azione del vento.

Dopo essersi interfacciati con la ditta fornitrice dei pannelli si è concordato di inserire all'interno di ogni elemento sandwich, parallelamente alle greche, un profilo tubolare in acciaio di rinforzo da **50 X 50 X 2 mm** (si veda sotto immagine esemplificativa di inserimento del tubolare nel pannello, in rosso)

Dato che i moduli dei pannelli hanno un metro di larghezza si avrà quindi un tubolare ogni metro.



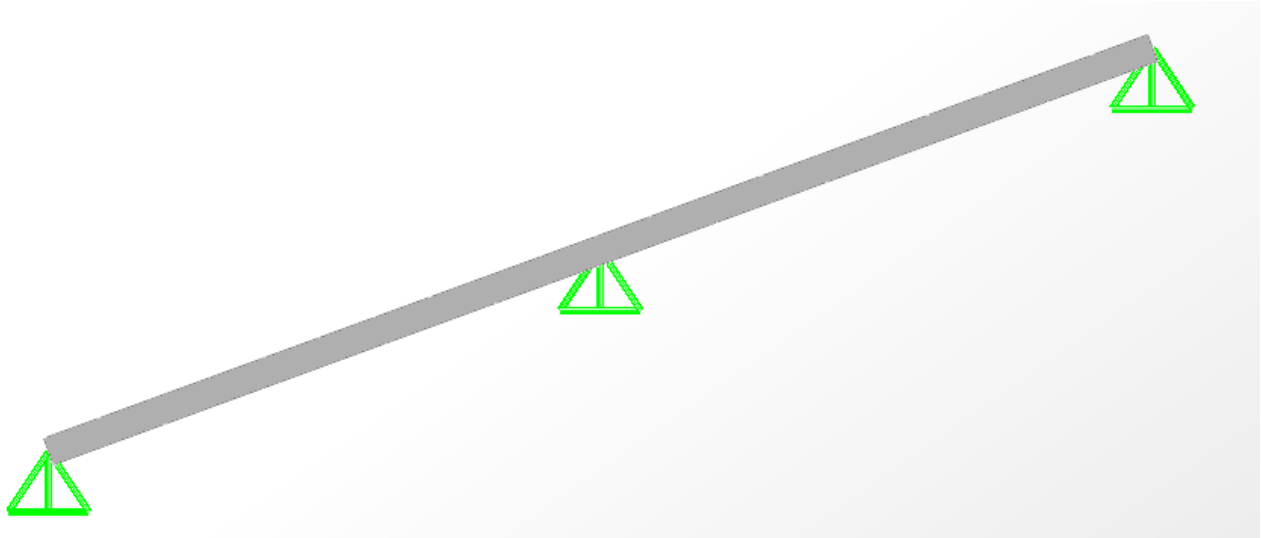


## 7. DIMENSIONAMENTO DEI PROFILI TUBOLARI

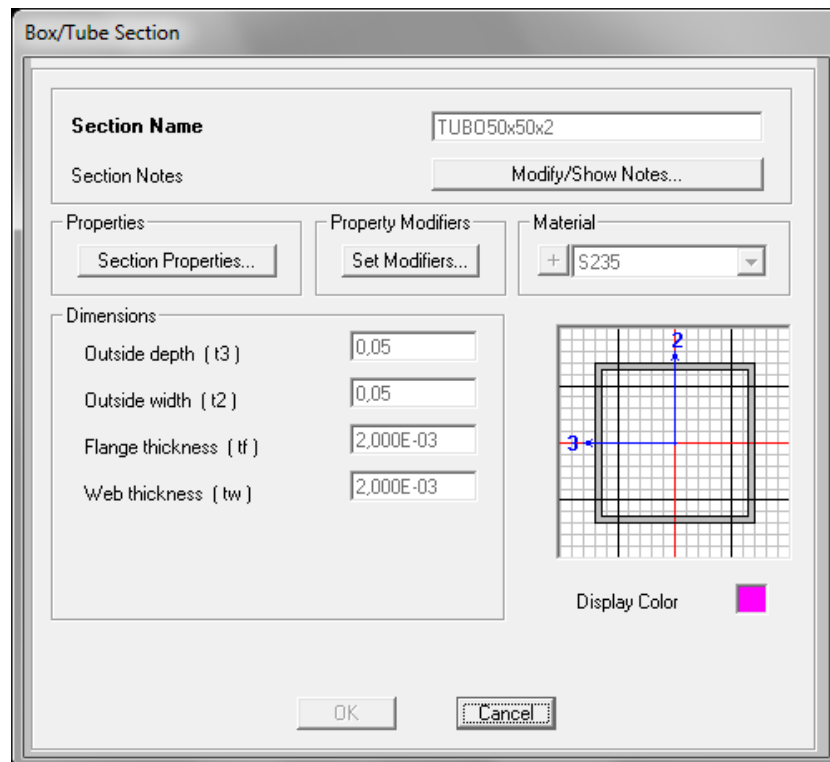
Il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza sul tubolare sono state effettuate con l'ausilio di un software di calcolo agli elementi finiti che ha permesso di:

- modellare la struttura;
- modellare i carichi (vento) ai quali la struttura è soggetta;
- effettuare in automatico il calcolo delle sollecitazioni allo SLU;
- effettuare in automatico le verifiche di resistenza degli elementi strutturali.

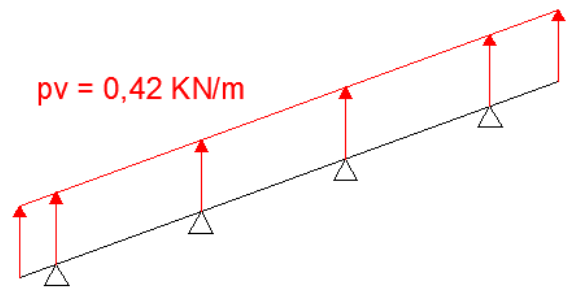
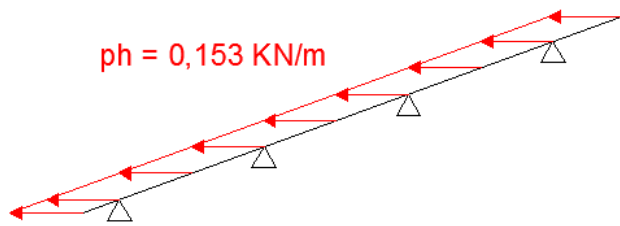
Si riportano di seguito un'immagine del modello realizzato.



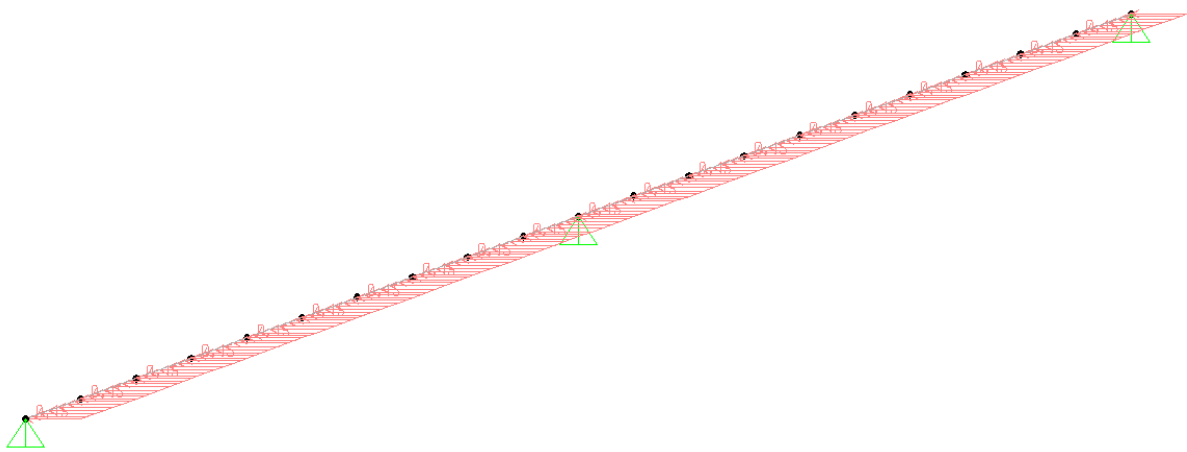
*Modello del singolo tubolare 50x50x2mm (2 camere)*



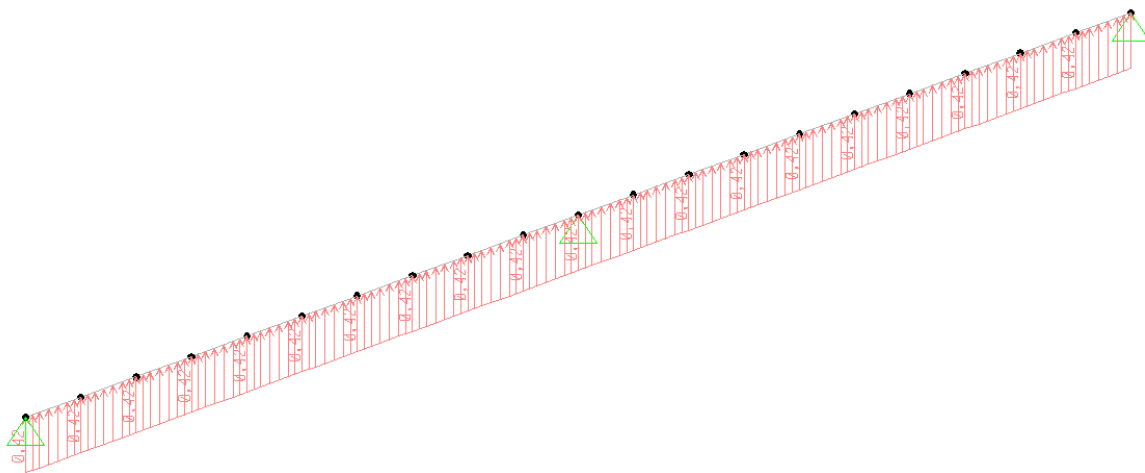
*Dettaglio sezione*



Scomposizione della forza del vento



Vento orizzontale

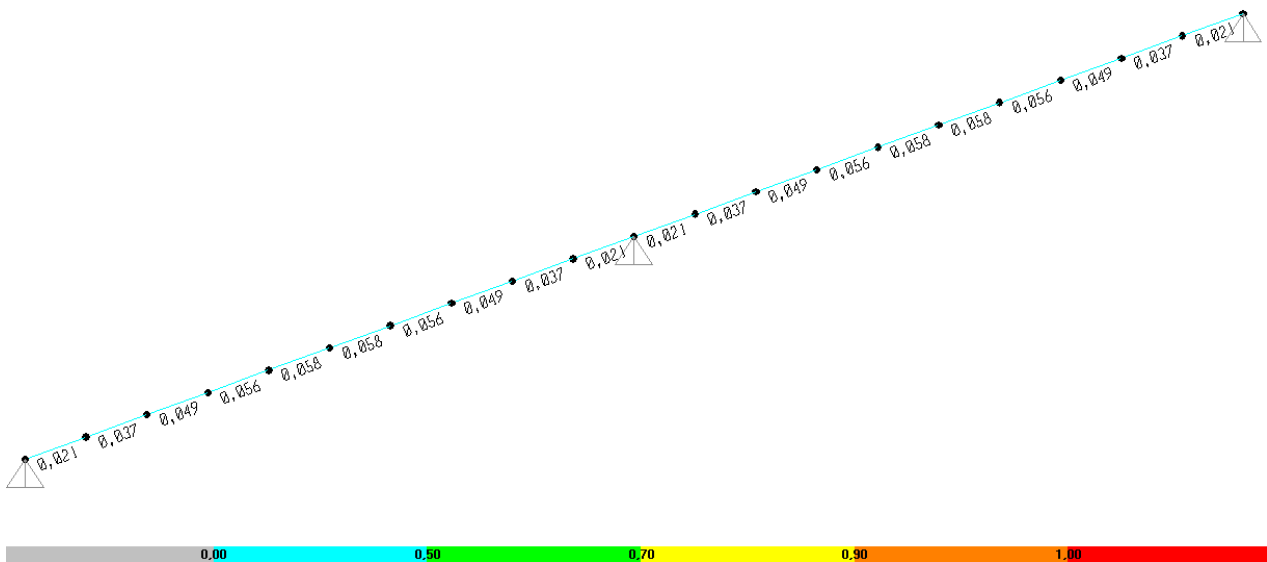


Vento verticale

## Verifica di resistenza degli elementi in acciaio

Il software di calcolo, come detto, permette di effettuare in automatico le verifiche di resistenza dell'intera struttura. Il risultato della verifica è riportato nella seguente immagine in forma grafica in termini di coefficiente di sfruttamento, che è il rapporto tra la il valore di sollecitazione agente in ogni punto della struttura ed il corrispondente valore di resistenza.

### Verifica della struttura in condizioni statiche allo SLU (azione vento)



Verifiche di resistenza allo SLU: coefficiente di sfruttamento

Steel Stress Check Data Eurocode 3-2005						
File						
Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK						
Combo : SLU						
Units : KN, m, C						
Units: KN, m, C						
Frame : 13	Design Sect: TUB050x50x2					
X Mid : 1,050	Design Type: Brace					
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 0,383	Sect Class : Class 1					
Length : 0,106	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,106	RLP : 1,000					
Area : 3,840E-04	SMajor : 5,908E-06	rMajor : 0,020	AMMajor: 2,000E-04			
IMajor : 0,000	SMInor : 5,908E-06	rMinor : 0,020	AMMinor: 2,000E-04			
IMInor : 0,000	ZMajor : 6,916E-06	E : 210000000,00				
Ixy : 0,000	ZMinor : 6,916E-06	Fy : 235000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
0,106	1,800E-04	-0,034	0,000	0,286	0,000	0,000
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (6.2.1)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0,021	= 0,000	+ 0,021	+ 0,000	0,950	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	1,800E-04	81,050	90,240	81,050	81,050	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Nc,Rd Capacity	Nv,Rd Capacity	Nb,Rd Capacity		
Major Moment	-0,034	1,625	1,625	1,625		
Minor Moment	0,000	1,625	1,625	1,625		
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	10,000	1,000	1,000		1,000
Minor Moment	1,000	10,000	1,000		0,600	
SHEAR DESIGN						
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,286	27,135	0,011	OK	0,000	
Minor Shear	0,000	27,135	0,000	OK	0,000	

Il collegamento tra tubolare/pannello e muricci avviene tramite viti appositamente conformate per mantenere l'impermeabilità (da chiedere info al produttore dei pannelli), adatte alla perforazione di pannello e tubolare ed al collegamento meccanico o chimico con il sottostante strato di malta di testa ai muricci:



Si riportano di seguito le verifiche di resistenza sul tubolare soggetto alle forze del vento (coefficiente di sfruttamento) e l'azione di taglio e di trazione su una singola vite in forma schematica.

### **CALCOLO SOLLECITAZIONI DI TRAZIONE E TAGLIO SULLA VITE DI COLLEGAMENTO**

resistenza singolo bullone: M10 / classe minima (ftb=400MPa)			
<u>taglio</u>	equazioni (4.2.57) (4.2.58) (4.2.59) delle NTC 2008		
	coefficiente riduttivo		0,60
	tensione di rottura	ftb	400,00 [N/mm <sup>2</sup> ]
	area resistente netta	Ares	58,00 [mm <sup>2</sup> ]
	coefficiente sicurezza	$\gamma_{M2}$	1,25
	resistenza a taglio	Fv,Rd	11,14 [KN]
<u>trazione</u>	equazioni (4.2.62) delle NTC 2008		
	coefficiente riduttivo		0,90
	tensione di rottura	ftb	400,00 [N/mm <sup>2</sup> ]
	area resistente netta	Ares	58,00 [mm <sup>2</sup> ]
	coefficiente sicurezza	$\gamma_{M2}$	1,25
	resistenza a taglio	Ft,Rd	16,70 [KN]

<u>verifica taglio/trazione</u>	sollecitazioni				
	taglio per bullone	Fvd	0,12	[KN]	
	trazione per bullone	Ftd	0,34	[KN]	
	verifica				
	Nel caso di presenza combinata di trazione e taglio si può adottare la formula di interazione lineare:				
	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1, \quad (4.2.65)$				
	coefficiente sfuttamento	$\delta$	0,03 < 1		