RELAZIONE TECNICO-FINANZIARIA

PROGETTO SOTTOMISURA 16.2 - PSR 2014-2020 della Regione Toscana - *Annualità 2015*

PIF di riferimento: Filiera "3S ECO-NURSERY

Progetto sottomisura 16.2:

Relazione conclusiva di sintesi tecnico/economica delle attività svolte dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Firenze, per la Misura 16.2 inserita e approvata nell'ambito del Progetto Integrato di Filiera "3S ECO-NURSERY"

Luogo e data:

Firenze, 27/09/2018

Il responsabile scientifico

Prof. Giuseppe Grazzini

L'attività di ricerca attuata in relazione alla presente linea di finanziamento ha il fine di supportare il progetto di realizzazione di un impianto solare fotovoltaico integrato sull'involucro di una serra per coltura florovivaistica presso il vivaio Martini a Pistoia. L'idea generale è quella di affrontare e risolvere le criticità nella realizzazione di impianti fotovoltaici direttamente integrabili sull'involucro delle serre tipicamente utilizzate nel comparto vivaistico pistoiese. L'intervento si configura quindi come una riqualificazione di una serra esistente di cui devono quindi essere verificate preventivamente la capacità di resistenza meccanica dell'involucro della serra stessa e gli effetti introdotti dall'installazione dei pannelli fotovoltaici (opaco) sulla copertura della serra (trasparente) in termini sia strutturali che sull'"effetto serra" e sui parametri termici della serra stessa. La trattazione, benché riferita al caso studio della serra esistente presso il Vivaio Martini a Pistoia, tiene in considerazione la necessaria generalizzazione del problema di riqualificazioni di serre esistenti sul territorio pistoiese, cercando soluzioni di realizzazione estendibili anche a serre di altro tipo e che utilizzino materiali e soluzioni tecnologiche, ove possibile, note e già diffuse fra i gli operatori del settore vivaistico.

L'analisi parte dalla valutazione struttale della serra nelle condizioni attuali al fine di comprendere correttamente le condizioni al contorno necessarie alla progettazione della modalità di installazione e posa dei pannelli fotovoltaici integrati sopra la struttura esistente della serra.

E' stata eseguita una simulazione numerica volta a caratterizzare il profilo orario di temperatura all'interno della serra ed una contestuale misurazione del profilo verticale di temperatura al fine di confrontare i valori numerici con quelli misurati per validare i risultati del modello. Si è reso contestualmente necessario caratterizzare le proprietà del film di polietilene usato per realizzare l'involucro trasparente della serra in modo da poter meglio modellare l'"effetto serra".

In ottemperanza ai risultati dell'analisi strutturale è stata definita la tipologia di installazione dell'impianto fotovoltaico, usando pannelli flessibili da installare mediante incollaggio su telo in PVC da tensionare in aderenza alla copertura semicircolare esposta a sud della serra mediante gli stessi arridatoi utilizzati anche per il tensionamento dei teli trasparenti di involucro. Il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico è stato ottenuto valutando la necessità di garantire un corretto livello di illuminazione all'interno della serra compatibilmente con l'attività metabolica delle essenze vegetali.

E' stata eseguita la simulazione numerica del profilo orario di temperatura anche per la serra con installati i pannelli fotovoltaici, ottenendo una verifica del mantenimento di condizioni termici all'interno alla serra adeguate.

La realizzazione dell'impianto fotovoltaico e del suo sistema di monitoraggio è in fase di completamento ed il monitoraggio del profilo verticale di temperatura è attivo e rimarrà tale per almeno un ulteriore anno.

I risultati di questa attività vogliono promuovere la diffusione dell'uso delle energie rinnovabili all'interno del settore florovivaistico, proponendo una soluzione di impianto fotovoltaico da realizzare sulle serre esistenti sul territorio pistoiese mantenendone la normale funzionalità ed operatività. La disponibilità di energia elettrica in serra promuove inoltre l'introduzione di sistemi di controllo e automazione, di gestione ottimizzata dei processi produttivi, che possono rappresentare un'interessante ulteriore sviluppo del presente progetto.

1 ANALISI STRUTTURALE DELLO STATO ATTUALE DELLA SERRA

1.1 INTRODUZIONE

In questa prima fase di lavoro è stata cercata una soluzione per l'applicazione di pannelli solari amorfi da installare sulla copertura di una serra a volta con rivestimento in film plastico.

In maniera preliminare è stato valutato lo sfruttamento degli elementi strutturali che costituiscono la serra. Per sfruttamento si intende il rapporto tra le azioni sollecitanti agenti su un singolo elemento e la resistenza alle sollecitazioni dello stesso elemento.

In data 16/09/2016 è stato eseguito un sopralluogo al fine di visionare la struttura oggetto di intervento e completare l'operazione di rilievo, effettuata in precedenza dall'Ing. Martinuzzi.

Si riporta in seguito il risultato del rilievo.

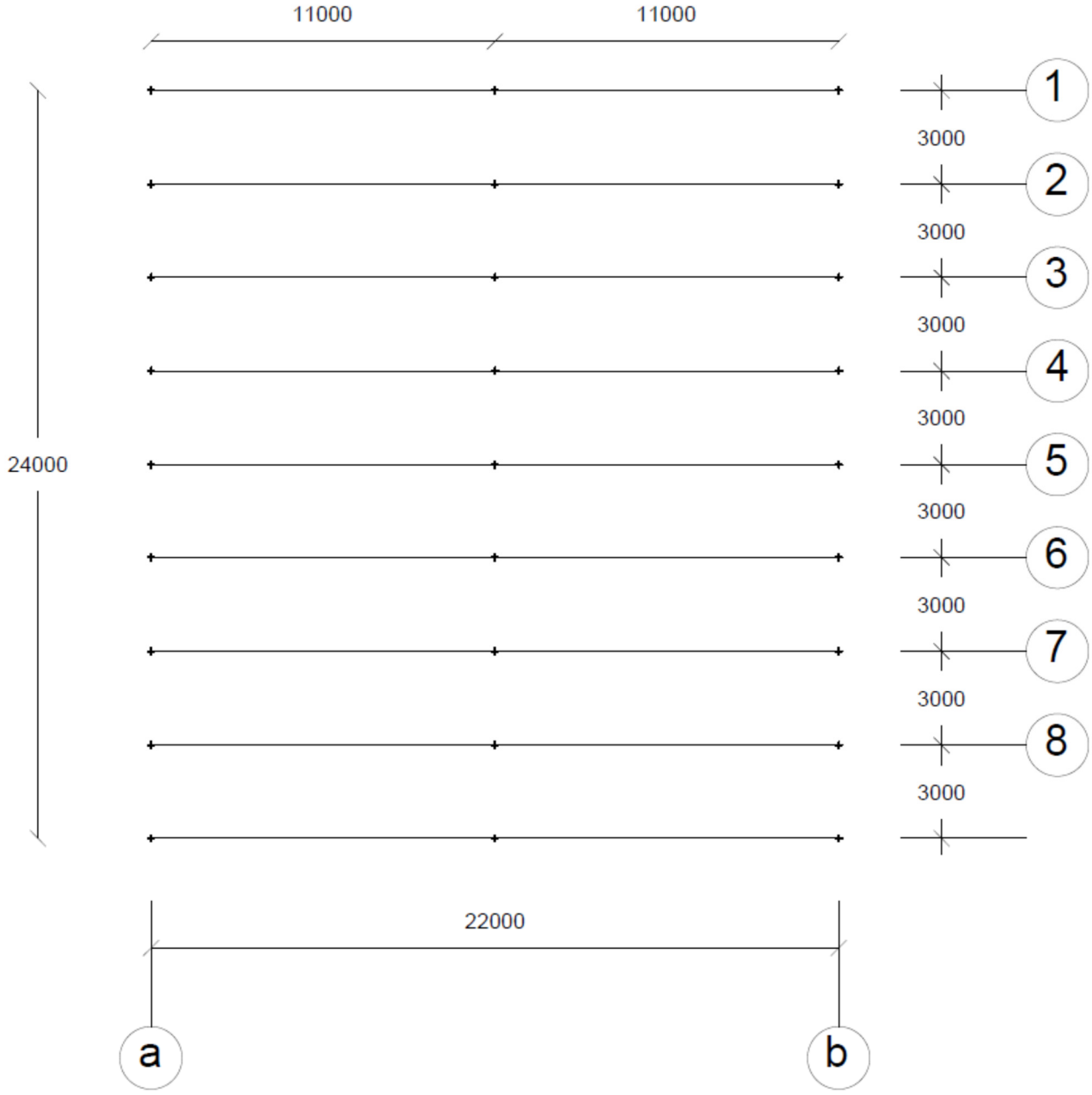


Figura 1 - Fili fissi

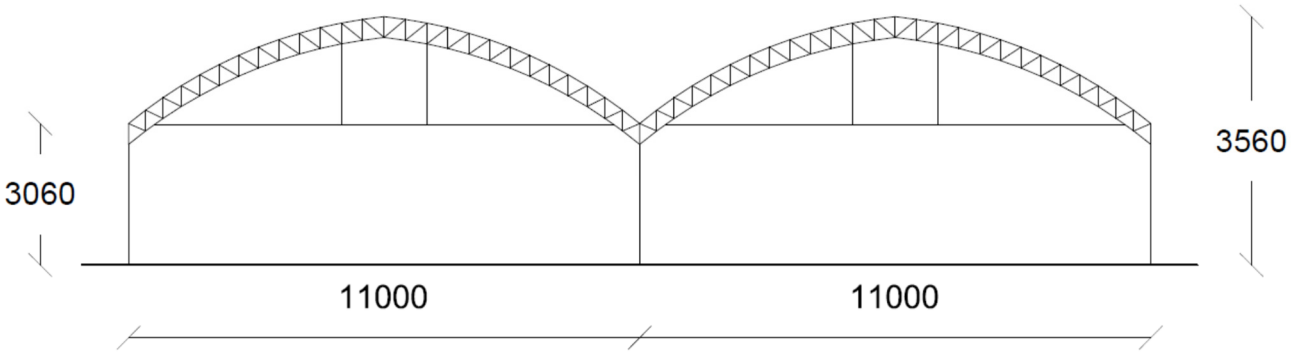


Figura 2 – Telaio

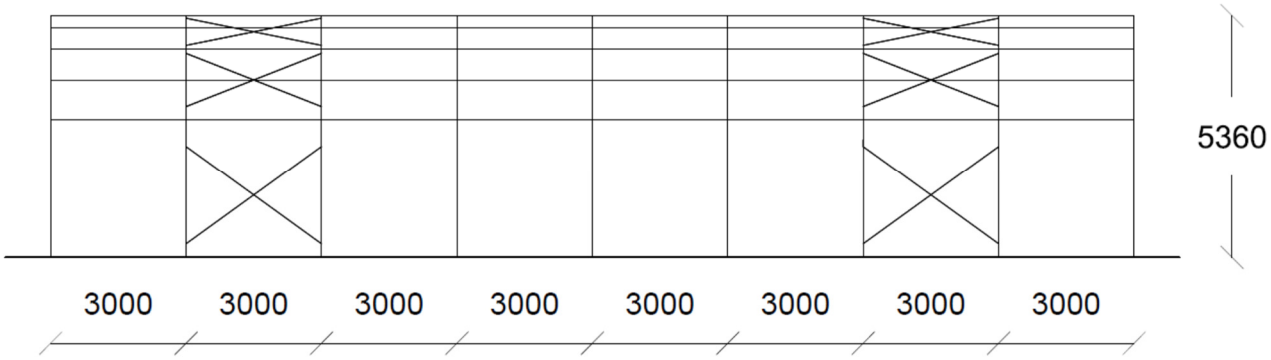


Figura 3 - Prospetto strutturale laterale

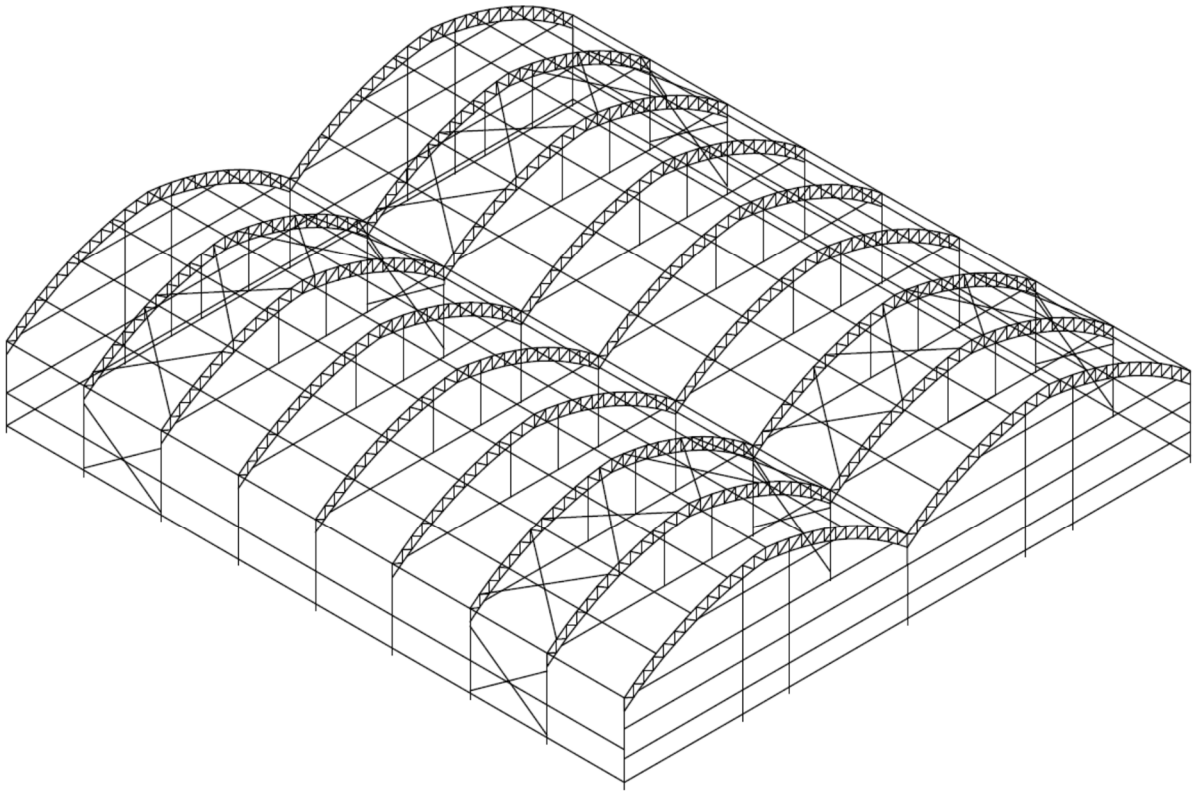


Figura 4 - Vista 3D

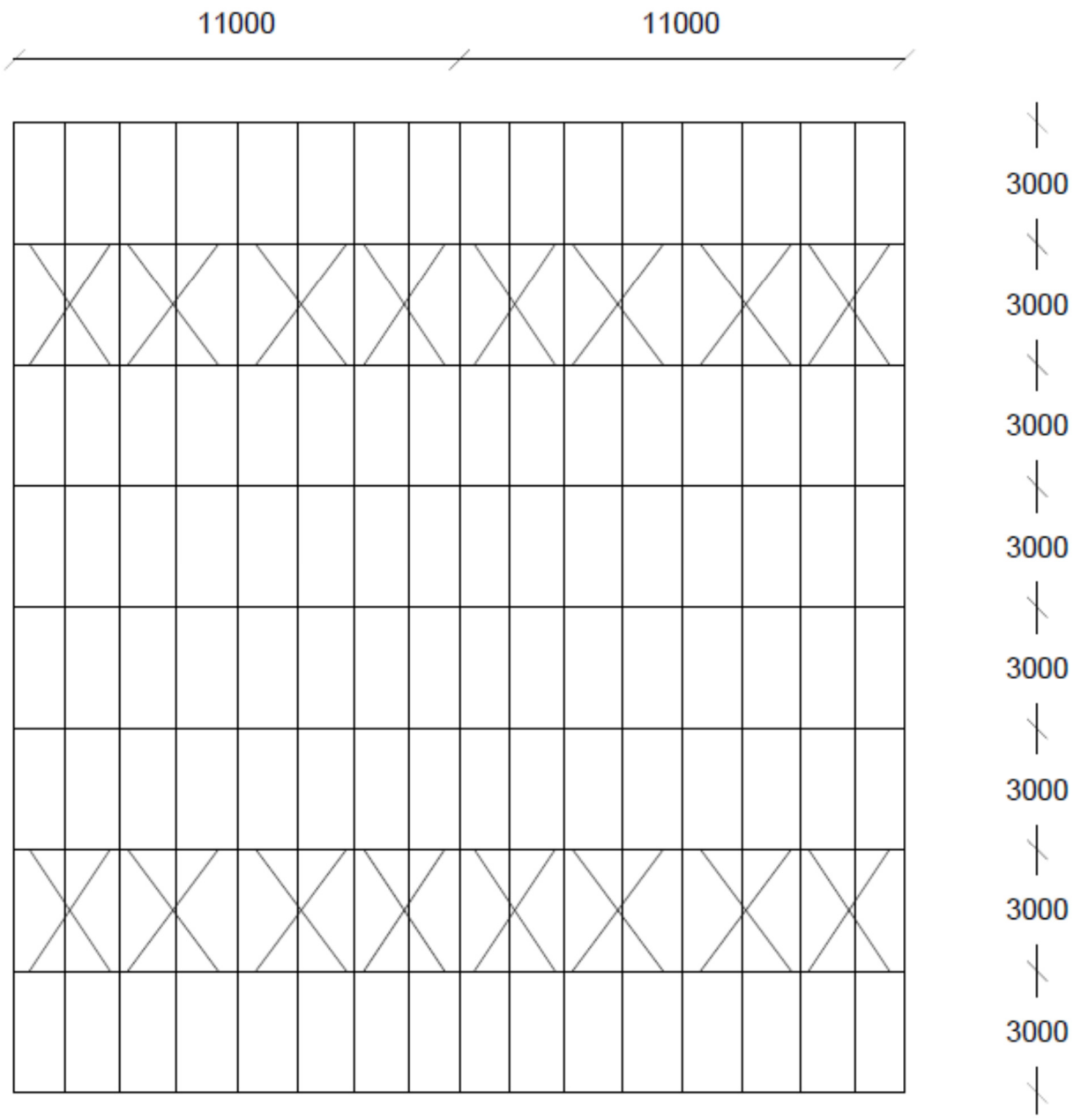


Figura 5 - Copertura

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la verifica degli elementi strutturali e per il calcolo delle azioni è stata utilizzata la norma "UNI EN 13031-1 Serre: progettazione e costruzione - Parte 1: Serre per produzione commerciale" la quale stabilisce i criteri specifici per la progettazione di queste tipologie di costruzioni. Tale norma è basata sugli EUROCODICI ma adotta specifici accorgimenti per tenere conto sia della vita nominale ridotta della struttura sia dei problemi relativi alle imperfezioni geometriche e agli effetti del secondo ordine tipici degli elementi snelli che costituiscono la struttura della serra.

Oltre alla sopracitata norma è stato fatto riferimento a:

- D.M. 14/01/08 (in seguito nominato "NTC08");
- Circolare 02/02/2009 n°617 (in seguito nominata "circolare");
- ENV 1991-1 (in seguito nominato "Eurocodice 1);
- ENV 1991-3 (in seguito nominato "Eurocodice 3).

1.3 DESCRIZIONE STATO ATTUALE

La serra è situata nel comune di Pistoia, in Via Ombrone Vecchio 103.

Figura 6 -Localizzazione Vivaio Martini

Figura 7 - Localizzazione serra

La struttura è una serra denominata “pistoiese” composta da due campate, ognuna larga 11m, con copertura curvilinea ad arco. La struttura è costituita dalla successione, lungo l’asse longitudinale, di 8 telai metallici ognuno di essi formato da 3 montanti che sorreggono due capriate curvilinee.

Il materiale di rivestimento è plastico

Figura 8 - Interno serra

Figura 9 - Particolare collegamento colonna capriata

1.4 CARATTERISTICHE E RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI UTILIZZATI

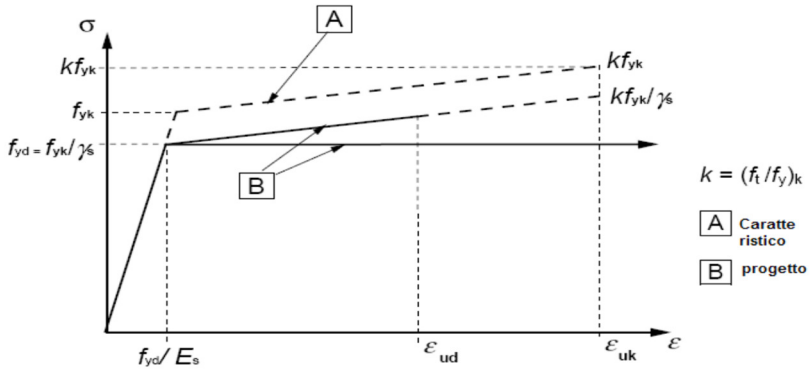
In seguito ad un colloquio con il costruttore della serra è stato appurato che il materiale utilizzato per gli elementi strutturali è:

- acciaio **tipo S235** $f_{yk} = 235$ N/mm^2
  $f_{tk} = 360$ N/mm^2

La copertura è realizzata con un film plastico in EVA.

1.5 PRESTAZIONI E MODELLI DI CALCOLO

Sono stati utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 14/01/2008.
Per le verifiche sezionali i legami utilizzati sono:



Legame costitutivo di progetto elastico perfettamente plastico o incrudente a duttilità limitata per l'acciaio; in particolare legame rigido plastico per le sezioni in acciaio di classe 1 e 2 e elastico lineare per quelle di classe 3 e 4.

1.6 AZIONI

1.6.1 DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO

Una serra è per definizione una struttura temporanea e per questo il classico tempo di ritorno di 50 anni utilizzato per gli edifici civili e industriali non è corretto.

Il regolamento edilizio di Prato disciplina le serre temporanee rimandando alla:

a) L.R 1/2005 (art.80 comma 2 lettera d-bis)

Nel rispetto dei medesimi presupposti di cui al comma 1, previa comunicazione, anche per via telematica, dell'inizio dei lavori da parte dell'interessato all'amministrazione comunale, comprensiva dell'identificazione dell'immobile o dell'unità immobiliare oggetto di intervento, i seguenti interventi sono eseguiti senza alcun titolo abilitativo: i manufatti precari, le serre temporanee e le serre con copertura stagionale previsti e disciplinati dal regolamento di attuazione dell'articolo 41, comma 8

b) Regolamento di attuazione (art. 41, comma 8)

Condizioni per l'installazione di serre temporanee e di serre con copertura stagionale aventi le caratteristiche costruttive dei manufatti precari (articolo 41, comma 8 della l.r. 1/2005)
1. L'installazione di serre temporanee e di serre con copertura stagionale per lo svolgimento dell'attività agricola realizzate con strutture in materiale leggero e semplicemente ancorate a

terra è consentita solo alle aziende agricole, previa comunicazione al comune. Tale installazione, riferita alla durata del ciclo produttivo, ancorché superiore all'anno, è consentita a condizione che:

a) il materiale utilizzato consenta il passaggio della luce;

b) l'altezza massima non sia superiore a 4 metri in gronda e a 7 metri al culmine; nel caso di serre con tipologia a tunnel viene considerata solo l'altezza del culmine;

c) le distanze minime non siano inferiori a:

1) metri 5 dalle abitazioni esistenti sul fondo;

2) metri 10 da tutte le altre abitazioni; questa distanza è ridotta a 5 metri qualora la serra non abbia alcuna apertura nel lato prospiciente l'abitazione;

3) metri 3 dal confine se l'altezza massima al culmine è superiore a metri 5; metri 1,5 se questa altezza è 5 metri o inferiore;

4) distanze minime dalle strade pubbliche secondo quanto previsto dal codice della strada.

2. Nella comunicazione presentata dal titolare dell'azienda agricola, sono indicate, salvo più dettagliate disposizioni contenute nella disciplina comunale del territorio rurale:

a) le esigenze produttive;

b) la superficie e le dimensioni di ciascuna serra;

c) i materiali utilizzati;

d) l'indicazione su planimetria catastale dei punti in cui sono previste le varie installazioni;

e) la data di installazione e quella di rimozione, per entrambe le tipologie di serre, nonché il periodo annuale di rimozione della copertura per le sole serre con copertura stagionale;

f) la conformità dell'intervento alla l.r. 1/2005 , al presente regolamento ed alle eventuali disposizioni contenute nella disciplina comunale del territorio rurale;

3. Per le serre con copertura stagionale, l'obbligo alla rimozione è riferito alla sola copertura.

4. Previa ulteriore comunicazione, le serre temporanee e quelle con copertura stagionale, in questo caso al termine del periodo di utilizzo di cui al comma 2 lettera e), possono essere reinstallate, una volta rimosse, anche in parti diverse della superficie aziendale per più periodi consecutivi.

5. All'installazione di serre con requisiti diversi da quelli indicati al comma 1 si applicano le disposizioni previste per gli annessi agricoli di cui agli articoli 4 e 5.

5-bis). Le installazioni di cui al presente articolo sono consentite fatte salve le limitazioni disposte dagli strumenti urbanistici generali ancora vigenti o dagli atti di governo del territorio del comune in coerenza con il piano territoriale di coordinamento e con il PIT.

5-ter). Non sono soggette alla disciplina di cui ai commi 1, 2, 3, 4, e 5, le coperture temporanee con altezza inferiore a 1 metro.

Date il carattere temporale della struttura il tempo di ritorno utilizzato per il calcolo delle azioni sarà di 10 anni.

1.6.2 AZIONI DEL VENTO

Le azioni del vento verngono calcolate in accordo alle NTC08 §3.3 "AZIONI DEL VENTO", utilizzando però un tempo di ritorno di 10 anni e i coefficienti specifici per le serre con copertura multipla ad arco indicati nella UNI EN 13031-1.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b * c_e * c_p * c_d$$

Dove:

q_b= pressione cinetica di riferimento (NTC08 §3.3.6)
c_e= coefficiente di esposizione (NTC08 §3.3.7)
c_p=coefficiente di forma (UNI EN 13031-1)
c_d=coefficiente dinamico (UNI EN 13031-1)

La pressione cinetica di riferimento (NTC08 §3.3.2), oltre alla densità dell'aria, dipende dalla velocità di riferimento del vento. Tale velocità è riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni, ma tramite un coefficiente α_R, definito nella circolare al §C3.3.2, è possibile valutarla per tempi di ritorno differenti.

Il coefficiente dinamico c_d, definito nell'appendice B al punto B.3 della UNI EN 13031-1 può essere considerato pari ad 1.

Il coefficiente aereodinamico c_p è costituito dalla combinazione più sfavorevole di c_{pe} e c_{pi}.
Questi coefficienti sono definiti nelle tabelle B.12 e B.17 della UNI EN 13031-1 dove:

c_{pi}= coefficiente di forma interno
c_{pe}= coefficiente di forma esterno

c_{pi} per serre con copertura a volta, multi campata, con gronde e con un rapporto h/s>0,2 è dato da:

Table B.17 - Internal pressure coefficient c_{pi} for greenhouses with vaulted roofs

Wind direction	Single span		Multispan
	Impermeable sides [a]	Vented or permeable sides [b]	
0°	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = -0,4	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = -0,2 [c]	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = -0,3
90°	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = -0,1	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = 0,0	c_{pi} = 0,2 c_{pi} = -0,1

[a] Greenhouses with closed vents and/or doors in end walls but impermeable side walls
[b] Greenhouses with closed vents and/or doors in end walls and vented or permeable side walls
[c] Where permanent ridge ventilation is present c_{pi} = -0,3 should be used

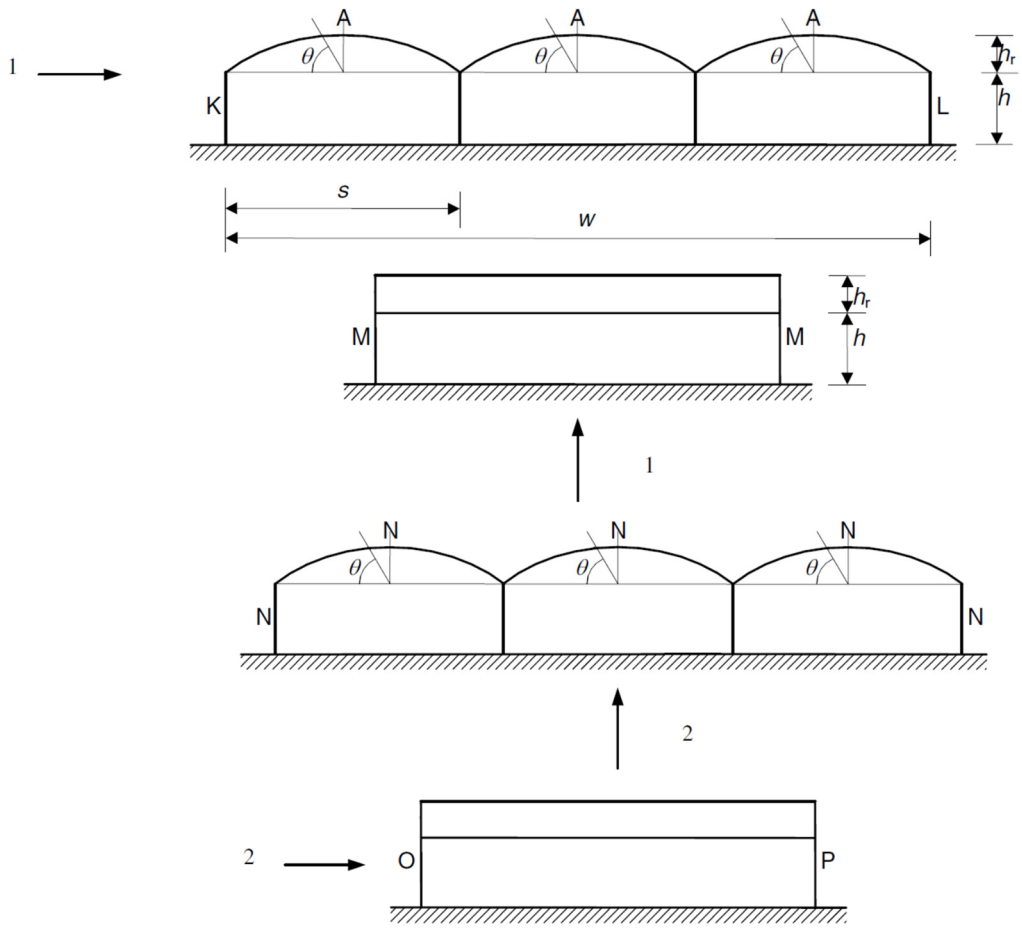
c_{pe} per serre con copertura a volta, multi campata, con gronde e con un rapporto h/s>0,2 è dato da:

Table B.12 - External pressure coefficients c_{pe} for the vaulted roofs and walls of multispan greenhouses with eaves

Wind direction	Span	θ	A	A [a]
0°	First	0° to 55° 55° to 70° 70° to 115° 115° to gutter	+0,3 -1,0 -1,0 -0,4	+0,3 -1,0 -1,2 -0,4
	Second	gutter to 80° 80° to 100° 100° to gutter	-0,2 -0,9 -0,3	-0,2 -0,9 -0,3
	Third and subsequent	gutter to 80° 80° to 100° 100° to gutter	0,6 c_{pe} Of second span	

[a] For h_r/s < 0,2 and film plastic cladding unrestrained against uplifting over ridge.

Wind direction	h/w	K	L	M
0°	≤ 0,4 ≥ 0,6	+0,6 +0,6	-0,3 -0,6	-0,3 -0,4
Wind direction	θ	N	O	P
90°	All	-0,2	+0,7	-0,3

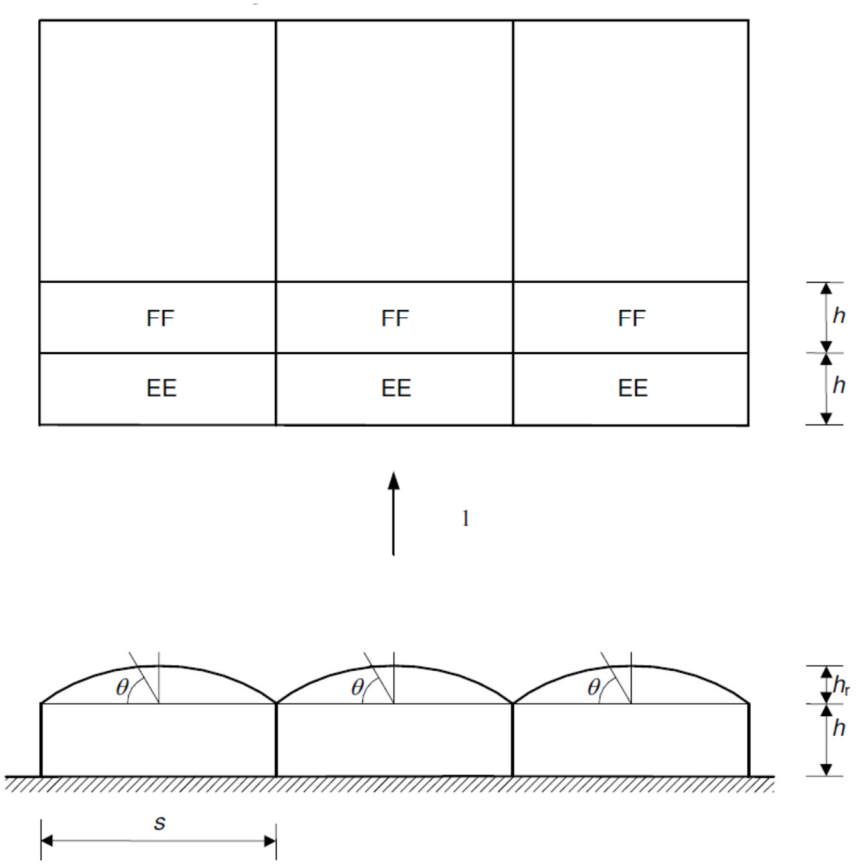


Key
1 0° wind
2 90° wind

Inoltre localmente il valore di c_{pe}, da utilizzare solamente per la verifica delle connessioni e della copertura è dato da:

Table B.16 - Local pressure coefficients c_{pe} for the vaulted roofs of multispan greenhouses with eaves and with $h/s \geq 0,2$

Wind direction	θ	EE	FF
90°	All	-1,3	-0,6



Key
1 90° wind

Tempo di ritorno	10	anni		α_R=	0,90
Zona	3				
	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_{0\,[m]}$	k_a [1/s]		
	27	500	0,02		
Cat.ter.	II				
	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]		
	0,19	0,05	4		
Cat.esp.	D		Aree prive di ostacoli		
a_s=	70	m	altitudine sito di realizzazione		
z=	3	m	altezza sul suolo del punto considerato		
v_b=	24,38	m/s	velocità di riferimento		
q_b=	371,64	N/m^2	pressione cinetica di riferimento		
c_e=	1,80		coefficiente di esposizione		
c_d=	1				
c_{pe}=			coefficiente di forma		

Direzione vento	Campata	θ	A	A^a		c_{pi}
0	1	0<θ<55	0,3	0,3	0	0,2
		55<θ<70	-1,0	-1,0	0	-0,3
		70<θ<115	-1,0	-1,2	90	0,2
		θ>115	-0,4	-0,4	90	-0,1
	2	0<θ<80	-0,2	-0,2		
		80<θ<100	-0,9	-0,9		
		θ>100	-0,3	-0,3		

Direzione vento	h/w	K	L	M
0	≤0,4	0,6	-0,3	-0,3
	≥0,6	0,6	-0,6	-0,4

Direzione vento	θ	N	O	P
90	tutti	-0,2	0,7	-0,3

h= 3 m w= 22 m

p= **pressione del vento**

Direzione vento	Campata	θ	A [N/m^2]	A^a [N/m^2]	EE [N/m^2]	FF [N/m^2]
0	1	0<θ<55	**335**	**335**		
		55<θ<70	**-870**	**-870**		
		70<θ<115	**-870**	**-1004**		
		θ>115	**-468**	**-468**		
	2	0<θ<80	**-335**	**-335**		
		80<θ<100	**-803**	**-803**	**-1071**	**-602**
		θ>100	**-401**	**-401**		

Direzione vento	K [N/m^2]	L [N/m^2]	M [N/m^2]	N [N/m^2]	O [N/m^2]	P [N/m^2]
0	**535**	**-401**	**-401**	/	/	/
90	/	/	/	**-201**	**602**	**-268**

1.6.3 AZIONE DELLA NEVE

Il carico neve sulla copertura viene valutato in accordo alle NTC08 §3.4 "AZIONI DELLA NEVE", utilizzando però un tempo di ritorno di 10 anni e i coefficienti specifici per le serre con copertura multipla ad arco indicati nella UNI EN 13031-1.
Il carico provocato dalla neve sulla copertura è dato dall'espressione:

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

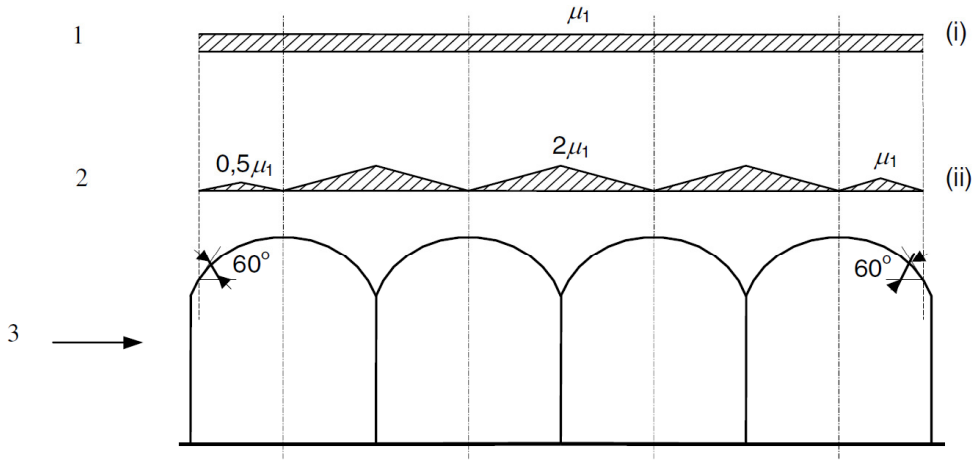
Dove:

μ_i= coefficiente di forma (UNI EN 13031-1)
q_{sk}= valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo (NTC08 §3.4.2)
C_E=coefficiente di esposizione (NTC08 §3.4.3)
C_t=coefficiente termico (UNI EN 13031-1)

Il coefficiente di forma per serre con copertura a volta, multi campata è pari a 0,8 e vanno considerate le distribuzioni riportate in appendice C della UNI EN 13031-1.

C.3.4 Multispan arches

C.3.4.1 For multispan arches two cases of snow loads shall be considered as shown in Figure C.4.



Key
1 Uniform load
2 Non-uniform load
3 Wind direction

Il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo (NTC08 §3.4.3) è fornito per periodi di ritorno di 50 anni. Tramite l'Eurocodice 1 è possibile adattare il tempo di ritorno attraverso un coefficiente α definito nell'appendice C di UNI ENV 1991-2-3.

Il coefficiente termico risulta pari ad 1 per serre non riscaldate.

μ_1=	0,80		coefficiente di forma per le coperture
a_s=	70	m	altitudine sito di realizzazione
q_{sk}=	Zona II	1,00 kN/m^2	
	T_R=	10	anni
	α=	0,72	per tempo di ritorno diverso da 50 anni
C_E=	Normale	1	coefficiente di esposizione
C_t=	1		coefficiente termico

q_s= 576 N/m^2

1.6.4 PESO PERMANENTE NON STRUTTURALE

Come pesi permanenti non strutturali sono stati considerati:

- doppio strato di film plastico tipo EVA spessore 1,5/10
- ombreggiante interno
- accessori vari (impianto elettrico, illuminazione, etc.)

COMPONENTE	**APPLICAZIONE**	**N/m^2**
Film plastico	Corrente superiore	2
Ombreggiante	Corrente inferiore	1,5
Varie	Corrente inferiore	146,5
		150

1.6.5 STATO LIMITE ULTIMO PER GLI ARCHI

L'assenza di prescrizioni specifiche all'interno delle NTC 08 che tengano conto degli effetti del secondo ordine e delle imperfezioni geometriche per quanto riguarda le strutture con copertura composta da un solo tubo snello, rendono necessaria l'applicazione dell'appendice D della norma UNI EN 13031-1.

L'imperfezione geometrica equivalente può essere sostituita da una forza orizzontale equivalente applicata nel colmo della copertura. Il valore di questa forza sarà di 1/50 V dove V è il totale delle forze verticali applicate. Con l'applicazione di questa forza si determina il primo autovalore λ_{cr} che dà la più piccola forma di instabilità globale con la limitazione $\lambda_{cr} \geq 3{,}6$. Si esegue un'analisi lineare del primo ordine considerando i momenti sollecitanti amplificati di $\frac{\lambda_{cr}}{\lambda_{cr}-1{,}2}$.

Nella struttura presa in esame non siamo in presenza di un singolo arco ma di una trave reticolare curvilinea formata da due archi uniti da una serie di diagonali così da poter trascurare l'amplificazione dei momenti sollecitanti specificata in questo paragrafo.

1.6.5.1 AZIONI DOVUTE ALLA TENSIONE DELLA COPERTURA PLASTICA

Solitamente le azioni dovute alla tensione del film plastico di copertura vengono trascurate ma questo non simula il corretto comportamento della struttura.
L'appendice I della UNI EN 13013-1 suggerisce delle metodologie per tener conto della compressione indotta sull'arco dalla tesatura del film plastico, metodo valido per le coperture a singolo e doppio film plastico.

Non esiste un semplice metodo di calcolo per determinare la distribuzione delle forze e dei momenti negli archi e nei film di copertura di strutture a tunnel. Attualmente le azioni sono prese dai carichi vento e neve che agiscono sulla pellicola supponendo che il film resti in contatto completo con gli archi. Le azioni a causa della precompressione nel film sono per lo più trascurate.
Questa situazione non corrisponde al comportamento reale. Nei casi in cui il film non è attaccato agli archi, la trasmissione di forze di trazione tra pellicola e l'arco non è possibile. La pre-tensione nel film non può essere ignorata in quanto questo comporta compressione negli archi, inoltre la pre-tensione nel film aumenta quando questo si stacca dall'arco a causa delle azioni esterne.
I comportamenti reali possono differire notevolmente dalla distribuzione assunta delle forze e dei momenti risultanti dalle sole azioni esterne.

Le azioni sul film sono dovute alla pre-tensione iniziale della pellicola e alle azioni esterne. La pretensione iniziale nel film è causata dal modo in cui il film è montato sulle arcate. Le azioni esterne devono essere calcolate in conformità ai punti precedenti. La forza normale agente nel film dipende da entrambi i tipi di

azione. Poiché le azioni esterne differisce per ciascun caso di carico la forza normale risultante dipende caso di carico.

La determinazione delle azioni agenti sulla struttura ad arco si compone delle seguenti fasi:

I. determinare le azioni sulla sezione del film di copertura risultante dal vento e/o neve, come specificato in precedenza;

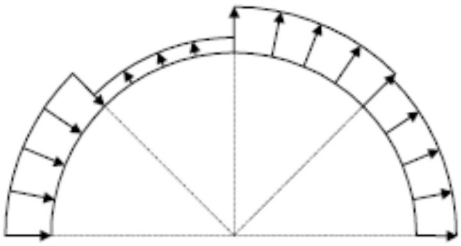


Figure I.1 - Actions on the cover film resulting from wind and/or snow

II. determinare le azioni sul arco di sostegno derivante dalla pre-tensione della pellicola;

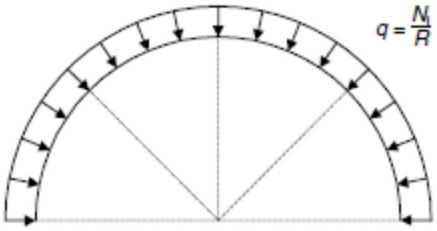


Figure I.2 - Actions on the supporting arch resulting from the pre-tension

III. sommare le azioni calcolate;

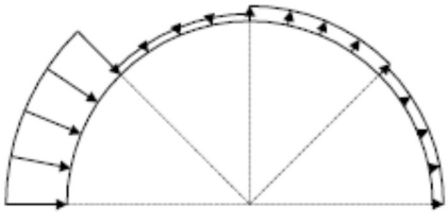
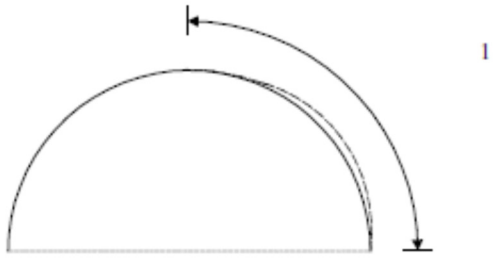


Figure I.3 - Actions resulting from wind and/or snow and pre-tension

IV. se il risultato del punto III porta forze di compressione ovunque tra film e arco, la trasmissione delle forze tra pellicola e l'arco è identica alle azioni ricavate in III.
Negli altri casi, il film può staccarsi dall'arco sopra una lunghezza specifica. In questo caso, continuare la procedura;

V. Si supponga che il film sia allentato sulla lunghezza in cui il risultato delle azioni calcolato in III porta a valori di trazione sull'arco;

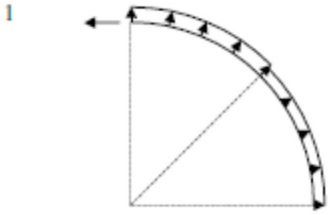


Key
1 Length over which the film is loose from the arch (suction).

Figure I.4 - Length over which the film is loose from the arch

VI. determinare la forza normale nel film basato sull'equilibrio della parte del film che è allentata dall'arco prendendo in considerazione le seguenti ipotesi:

- la geometria di questa parte del film è quasi la stessa di quella dell'arco. Da questa ipotesi si può dedurre che le azioni esterne (calcolate in III) sul film non vengono modificate;
- nei punti dove il film tocca l'arco, la direzione delle forze normali nel film è la stessa della tangente all'arco in quei punti.



Key
1 Normal force N_i in the film

Figure I.5 - Normal force in the film

VII. determinare le azioni sull'arco causate delle forze normali del film risultanti da VI. Per fare ciò la forza normale nel film dovrebbe essere preso come una forza di pretensionamento;

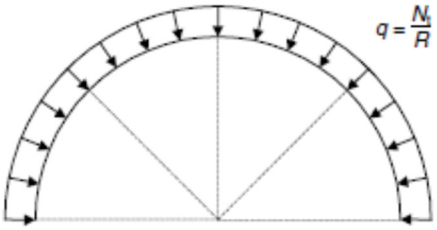


Figure I.6 - Actions on the supporting arch resulting from normal forces in the film

VIII. sommare le azioni ricavate da I e VII;

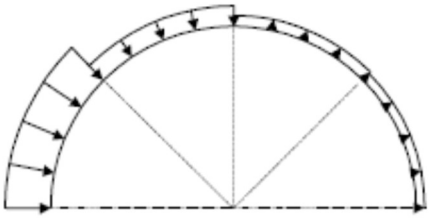


Figure I.7 - Actions resulting from wind and/or snow and normal forces in the film

IX. si supponga che il film sia allentato dove il risultato delle azioni del punto VIII porta a valori di trazione sull'arco;

X. confrontare i valori delle lunghezze, dove il film risulta allentato, determinati in V e in IX:

se il valore di V è lo stesso di quello in IX passare al punto XI;
se il valore di V differisce da quello in XI ripetere i punti da VI a X;

XI. le azioni sul arco devono essere determinate come segue:

prendere le azioni da VIII per quelle parti del arco soggette a compressione, trascurare le parti dell'arco soggette a trazione.

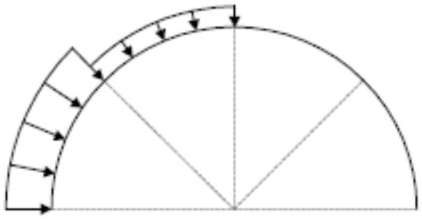


Figure I.8 - Actions on the supporting arch

1.6.6 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le serre sono progettate, secondo la UNI 13031-1, come classe A o classe B seconda delle tolleranze tra gli spostamenti del telaio dal sistema di riferimento. Si ipotizza che la serra appartenga alla classe B e per questo le verifiche saranno condotte solamente per gli Stati Limite Ultimi.

Le azioni verranno combinate come indicato in UNI EN 13031-1 §10.2; sono state prese in considerazione solamente le combinazioni aventi azioni utilizzate in questa specifica serra. Ad esempio è stata trascurata la a3 che prevede il carico dovuto al raccolto dominante, tale carico non è presente in questa specifica serra.

a1) $\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \psi_{0Q2} \gamma_{Q2} Q_{k2}$ – SLU vento dominante
a2) $\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \psi_{0Q1} \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2}$ - SLU neve dominante
b1) $\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{Q1} Q_{k1}$ – SLU solo vento
c2) $\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{Q2} Q_{k2}$ – SLU solo neve

Le combinazioni con neve saranno distinte in .1 se con neve uniformemente distribuita o .2 se con accumuli. A esempio la combinazione a.2.1 sarà SLU neve dominante uniformemente distribuita mentre la combinazione a.2.2 sarà SLU neve dominante con accumuli.

E.7.3 For Italy the combination coefficients shall be taken from Table E.27.

Table E.27 - Combination coefficients ψ

Combination of actions	Combination coefficients ψ			
	wind ψ_{0Q1}	snow ψ_{0Q2}	crop ψ_{0Q3} or ψ_{2Q3}	incidentally-present installation ψ_{0Q5}
a1	-	0,6	1,0	
a2	0,0	-	1,0	
a2	0,6	-	1,0	
a3	0,8	0,8	-	
c1			1,0	0,0
d1			1,0	
d2		0,5	1,0	

con:
A_k= azione della neve accidentale
G_{k1}= azioni permanenti
G_{k2}= azioni di installazione permanenti (luci, impianti di irrigazione…)
Q_{k1}= azione del vento
Q_{k2}= azione della neve
Q_{k3}= azione dovute alle operazioni di raccolto

I coefficienti γ sono stabiliti nell'appendice E della norma UNI EN 13031-1

E.7.2 For Italy the partial factors shall be taken from Table E.26.

Table E.26 - Partial factors γ

Limit state classification		Serviceability limit states	Ultimate limit states
Name	Symbol		
Permanent actions	γ_{G1}	1,0	1,2/1,0 [a]
Permanently-present installation actions	γ_{G2}	1,0	1,2/1,0 [a]
Wind actions	γ_{Q1}	1,0	1,2
Snow actions	γ_{Q2}	1,0	1,2
Crop actions	γ_{Q3}	1,0	1,2
Concentrated vertical action	γ_{Q4}		1,2
Incidentally-present installation actions	γ_{Q5}	1,0	1,2
Thermal actions	γ_{Q6}	1,0	1,0
Seismic actions	γ_{AE}		1,0

[a] The higher value shall be used when G_k acts in the unfavourable sense, the lower value shall be used when G_k acts in the favourable sense.

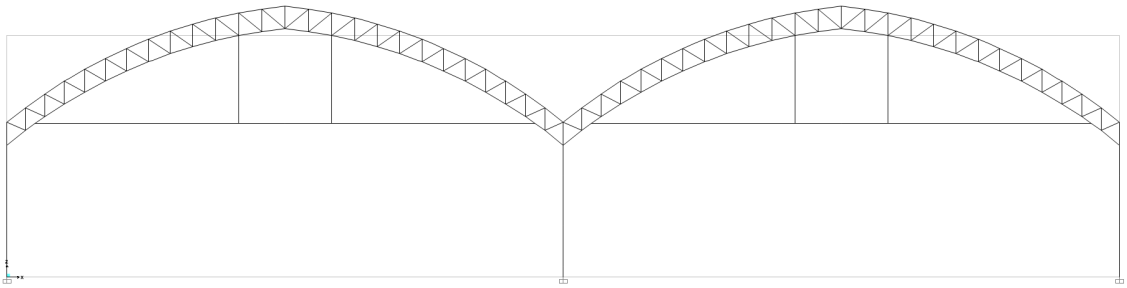
1.7 MODELLAZIONE STRUTTURA

Attraverso il programma agli elementi finiti SAP2000 sono stati eseguiti due modellati, uno piano formato dal telaio centrale sul quale agiranno la neve, i pesi permanenti (strutturali e non) e il vento trasversale e uno tridimensionale composto dai primi tre telai sul quale agirà anche il vento in facciata.

Di seguito si riporta, per ognuno dei due modelli, i dati relativi ai modelli, le sollecitazioni risultanti dalle analisi e le verifiche sui principali elementi strutturali.

1.7.1 MODELLO TRASVERSALE PIANO v.01

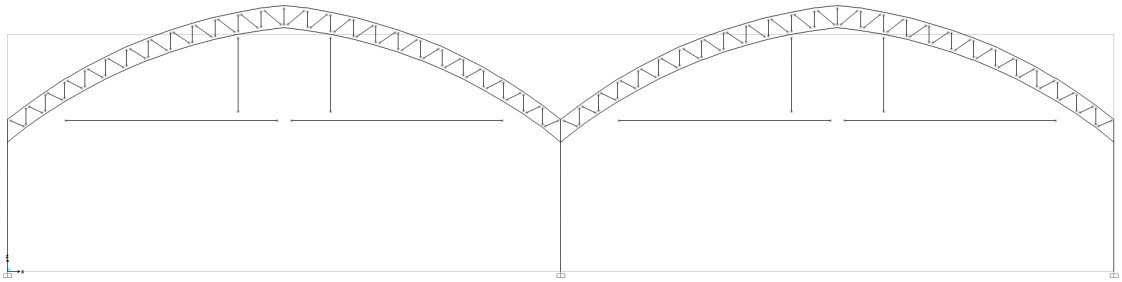
Il telaio preso in esame è il numero 5, numerazione dello schema a fili fissi riportato in figura 1, con una lunghezza di influenza di 1,5m e dx e 1,5m a sx.



Le sezioni applicate agli elementi frame, utilizzati per la modellazione, sono i seguenti:

- colonne: tubolare 80x50 sp=3;
- corrente inferiore capriata: tubolare 30x20 sp=1,5;
- corrente superiore capriata: tubolare 30x20 sp=1,5;
- diagonali capriata: barra circolare Φ10;
- tiranti: tubolare Φ32 sp=1,5.

La struttura è incastrata a terra, i diagonali della capriata sono incernierati così come i vincoli tra tiranti e capriata.



Le azioni agenti su questa struttura sono:

- permanente strutturale – definito da SAP2000;
- permanente non strutturale – 0,45 kN/m;
- vento – azioni A,K,L §2;
- neve – azioni §3 con due distribuzioni.

In questo modello il vento è stato applicato al corrente superiore della capriata sia che si tratti di azione di compressione della copertura che di sollevamento della stessa.

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali sono state classificate così come indicato in §4.2.3.1 NTC08.

PROFILO	**SEZIONE**	**SPESSORE [mm]**	**CLASSE**
Colonna	TU 80x50	3	1
Corrente inferiore	TU 30x20	1,5	1
Corrente superiore	TU 30x20	1,5	1
Diagonale	Φ10	/	1
Tiranti	Φ32 cavo	1,5	1

Le verifiche sono state condotte in accordo con §4.2 “costruzioni in acciaio” NTC08 e in particolare:

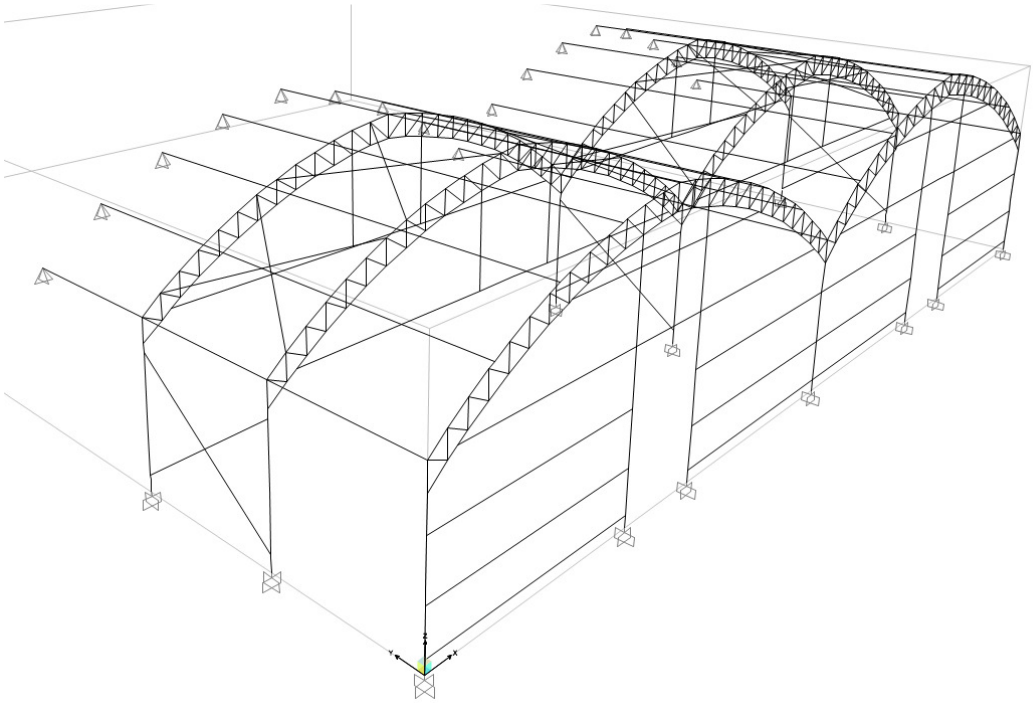
- resistenza § 4.2.4.1.2
- stabilità § 4.2.4.1.3 (metodo B)

Si riporta di seguito un riassunto delle verifiche riportate ALLEGATO A.
I valori negativi sono di compressione

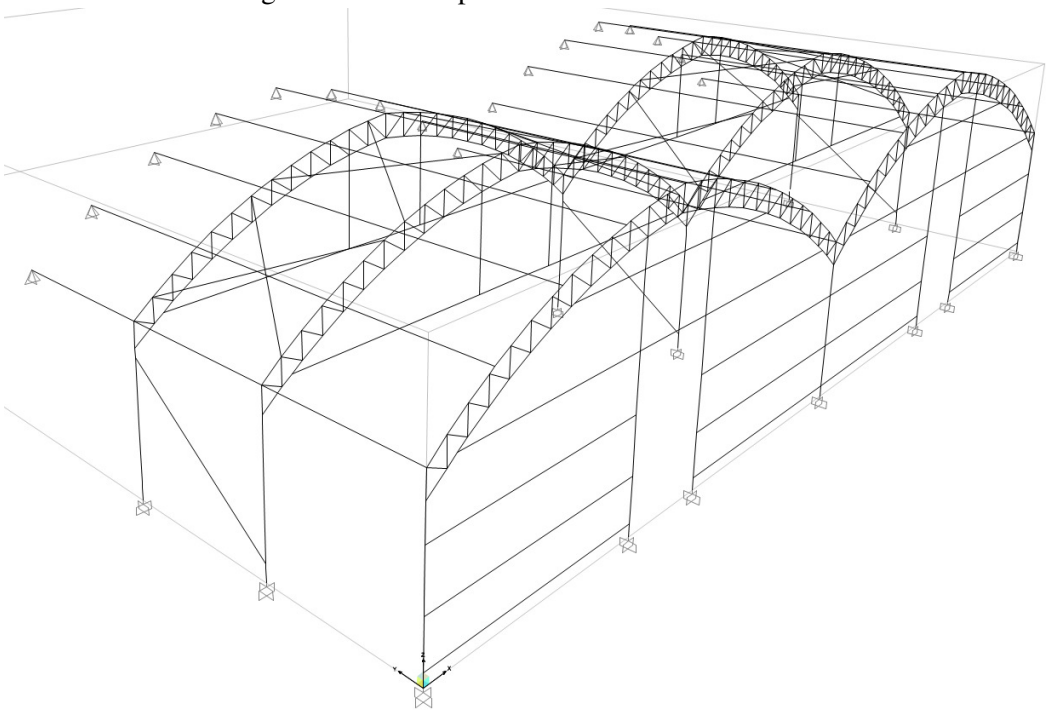
PROFILO	**N_{Ed} [kN]**	**M_{Ed} [kNm]**	**COMBINAZIONE**	**SFRUTTAMENTO**
Colonna M_{max}	+2,98	7,73	b.1	175%
Colonna N_{max}	-29,3	0	a.2.1	31%
Corrente inferiore N_{max}	-21,59	0,06	a.2.2	109%
Corrente inferiore M_{max}	+20,7	0,44	b.1	262%
Corrente superiore N_{max}	-23,15	0,04	a.1.1	101%
Corrente superiore M_{max}	+7,97	0,1	a.2.2	60%
Diagonale	-11,07	0	b.1	326%
Tirante Teso	+13,07	0	a.2.1	41%

1.7.2 MODELLO TRASVERSALE FACCIATA v.01

Sono stati modellati i primi tre telai, al fine di considerare il vento frontale e il comportamento dei controventi di falda e verticali.



Per valurtare in maniera ottimale il comportamento dei controventi a croce di sant'Andrea è stato creato anche un modello che presenta i soli diagonali verticali tesi e i diagonali orizzontali di area pari alla metà di quella reale al fine di non considerare gli elementi compressi.



La modellazione è sempre eseguita con elementi frame e gli elementi utilizzati sono i medesimi che del modello "trasversale piano v.01" al quale verranno aggiunti:

- controventi: tubolare Φ32 sp=1,5;
- colonne facciata: tubolare 80x50 sp=3;
- arcarecci di falda: tubolare 50x30 sp=1,5;

- arcarecci facciata: tubolare 30x40 sp=2;
- gronde laterali*: C 200x100 sp=2
- gronda centrale*: C 214x110 sp=2

  *profili equivalenti aventi la stessa area di quelli reali

La struttura è incastrata a terra, i diagonali della capriata sono incernierati così come i vincoli tra tiranti e capriata, tra diagonali e montanti, tra diagonali e correnti superiori e tra arcarecci e correnti superiori; infine gli arcarecci del terzo campo hanno le traslazioni impedite per simulare la presenza dei restanti telai che costituiscono la struttura.

Le azioni agenti su questa struttura sono:

- permanente strutturale – definito da SAP2000;
- permanente non strutturale – 0,45 kN/m (applicato ai telai);
- vento – azioni EE, FF (applicate sugli arcarecci di copertura rispettivamente del primo e del secondo campo), N (applicata sugli arcarecci di copertura del terzo campo), O (applicato alle colonne di facciata) §2;
- neve – azioni §3 con due distribuzioni (applicato agli arcarecci di copertura i=1,5m).

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali sono state classificate così come indicato in §4.2.3.1 NTC08.

PROFILO	SEZIONE	SPESSORE [mm]	CLASSE
Controventi	Φ32 cavo	1,5	1
Colonne facciata	TU 80x50	3	1
Arcarecci falda	TU 50x30	1,5	1
Arcarecci facciata	TU 40x30	2	1
Gronde laterali	C 200x100	2	4
Gronde centrali	C 214x110	2	4

Le verifiche sono state condotte in accordo con §4.2 “costruzioni in acciaio” NTC08 e in particolare:

- resistenza § 4.2.4.1.2
- stabilità § 4.2.4.1.3 (metodo B)

Si riporta di seguito un riassunto delle verifiche riportate ALLEGATO A, divise per combinazione b.1 e per combinazione più sfavorevole tra le restanti (a.1, a.2 e c.1).
I valori negativi sono di compressione

PROFILO	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	COMBINAZIONE	SFRUTTAMENTO
Colonna facciata	0	16,31	0	b.1	369%
Colonna M_{max}	6,7	0	2,23	b.1	50%
Arcarecci falda	0,2	2,06	0	b.1	242%
Gronda centrale	-7,44	2,35	0	b.1	35%
Gronda laterale	-3,60	1,92	0	b.1	49%
Controvento verticale	0,3	0	0	b.1	1%
Controvento orizzontale	1,9	0	0	b.1	6%

PROFILO	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	COMBINAZIONE	SFRUTTAMENTO
Colonna N_{max}	-33,73	0	0	c.1.1	35%

Colonna M_{max}	-16,74	2,75	0,08	c.1.1	85%
Arcarecci falda	0	1,70	0	c.1.2	198%
Gronda centrale	0,01	2,32	0	c.1.2	28%
Tirante Teso	16,1	0	0	c.1.1	50%

1.7.3 CONSIDERAZIONI SULLA MODELLAZIONE

Dai risultati emergono alcuni dubbi sulla scelta della modellazione effettuata, infatti nella realtà il vento di sollevamento non trasmetterebbe l'azione direttamente sugli arcarecci di copertura, e da essi ai correnti superiori della capriata, poiché il film plastico è collegato solamente alle gronde laterali e centrale della struttura, come si può vedere nelle foto seguenti.

Figura 10 - collegamento film plastico alla struttura in corrispondenza della gronda centrale

Figura 11 - collegamento film plastico alla struttura in corrispondenza della gronda centrale

E' verosimile anche ipotizzare che in presenza di un vento avente direzione e velocità dati dalla norma per la verifica, il collegamento cederebbe facendo sollevare il telo così da far venir meno le azioni sulla struttura.

Per questo motivo sono stati eseguiti altri due modelli, analoghi ai precedenti ma aventi solamente i valori di compressione sulla copertura per quanto riguarda l'azione derivante dal vento.

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati sintetici delle verifiche effettuate per il modello denominato MODELLO TRASVERSALE PIANO v.02.

PROFILO	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	COMBINAZIONE	SFRUTTAMENTO
Colonna M_{max}	-3,69	4,17	b.1	98%
Corrente N_{max}	-10,61	0	b.1	34%
Corrente M_{max}	-1,61	0,04	b.1	23%
Diagonale	-2,45	0	b.1	73%

PROFILO	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	COMBINAZIONE	SFRUTTAMENTO
Colonna M_{max}	-9,37	4,46	a.1.1	109%
Colonna N_{max}	-29,6	1,64	a.2.1	59%
Corrente N_{max}	-23,39	0,03	a.2.2	90%
Corrente M_{max}	-8,02	0,61	c.1.1	293%
Diagonale	-9,92	0	c.1.2	292%
Tirante	+13,06	0	c.1.1	41%

Sia il corrente con Mmax che il diagonale sono posizionati in corrispondenza del nodo capriata-tirante.

Altra considerazione va fatta sui collegamenti infatti, i collegamenti nelle strutture di acciaio, sono di fatto una via di mezzo tra una cerniera e un incastro, solitamente si modellano come cerniere dotate di una molla rotazionale avente una rigidezza ricavata da prove sperimentali eseguite in laboratorio. Non potendo eseguire tali prove si sono fatte le ipotesi limite di incastro e di cerniera valutando la risposta della struttura. Cambiano, nei vari modelli, i vincoli per l'unione capriata montante e per il collegamento a terra è stato notato come, per cambiando la distribuzione delle sollecitazioni, non si hanno cambiamenti nei valori massimi utilizzati per le verifiche.

Nell'allegato A si riportano, per esteso, tutte le verifiche fatte sugli elementi strutturali.

1.7.4 CONCLUSIONI SULLA MODELLAZIONE

Scopo di questa analisi preliminare non era quello di valutare lo stato di fatto di una struttura, che per la normativa italiana vigente non è soggetta a progettazione con criteri analoghi a quelli relativi ad edifici civili, ma analizzarne lo stato attuale per poter al meglio progettare una soluzione che consentisse l'istallazione dei pannelli solari in copertura.

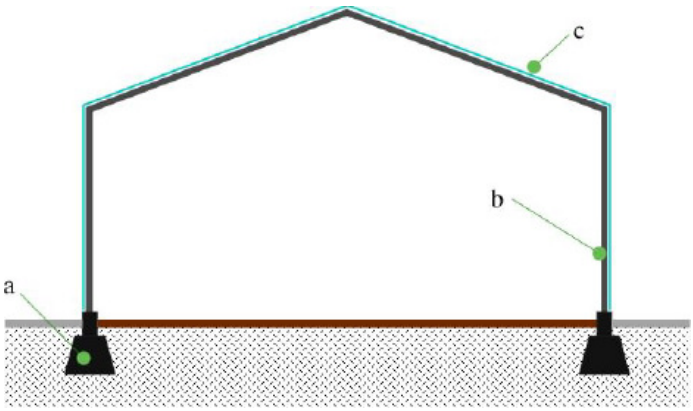
Scindendo i risultati delle verifiche dello stato attuale dal reale comportamento della struttura è ragionevolmente considerabile che il contesto del sito di installazione, dove troviamo alcuni edifici e strutture agricole ad essa adiacenti, limiteranno la pressione del vento sulla serra ed inoltre il sistema di riscaldamento ausiliare interno non favorirà l'accumulo di neve in copertura.
Altro punto a favore della struttura è costituito dai pannelli in materiale plastico posti nella parte bassa dei lati longitudinali e fissati ad arcarecci di parete che contribuiranno, se pur in maniera lieve, ad aumentare la rigidezza longitudinale della struttura e che non sono stati modellati per via della difficoltà di schematizzare tale comportamento in un modello agli elementi finiti.

2 ANALISI DEL COMPORTAMENTO TERMICO DELLA SERRA

Le colture protette sono un sistema di coltivazione che si avvale dell'utilizzo di sistemi di protezione di vario tipo per consentire la crescita e lo sviluppo della pianta in condizioni ambientali favorevoli. Questo metodo di coltivazione si è diffuso sul territorio per vari motivi, sia per favorire il mantenimento di condizioni favorevoli alla crescita delle essenze vegetali anche in presenza di condizioni ambientali non idonee, sia per proteggere, nel senso più letterale del termine, le coltivazioni dagli eventi metereologici più importanti e dannosi che negli ultimi decenni stanno verificandosi anche nei nostri territori a causa del cambiamento climatico in atto.

In particolare la serra è un tipo di protezione utilizzato per le colture forzate, che permette il condizionamento dei parametri climatici al suo interno, attraverso il controllo dei fattori ambientali fondamentali per la crescita della specie vegetale. Tali fattori, che costituiscono il microclima di una serra, sono principalmente la temperatura interna, l'umidità relativa, la luce e la concentrazione di anidride carbonica. In particolare la temperatura è il fattore più importante e determinante dello sviluppo della pianta. Essa è una conseguenza degli scambi termici che avvengono attraverso la superficie della serra. I materiali utilizzati per le coperture delle serre, come il vetro e le materie plastiche, cercano di sfruttare la radiazione solare come generatore termico naturale dello spazio grazie alle loro particolari proprietà fisiche e meccaniche. Il controllo effettuato dal particolare involucro della serra sulla quantità di radiazione solare diretta e diffusa ed una variazione della permeabilità all'aria esterna permette di ottenere un controllo climatico dello spazio interno alla serra in modo da favorire un riscaldamento naturale invernale e controllare il surriscaldamento estivo.

In generale la struttura di involucro di una serra è costituita dai componenti riportati in Figura 12:



Figura

Figura 12: elementi di una serra (a. fondazioni, b. struttura portante principale e secondaria, c. materiale di copertura)

Il materiale di copertura della serra deve avere le caratteristiche necessarie a generare l"effetto serra" ovvero catturare la radiazione solare grazie alle proprietà selettive del materiale stesso, trasparenza nel campo delle lunghezze d'onda della visivo e infrarosso corto (caratteristiche della radiazione solare) e opacità alla radiazione infrarossa lunga (caratteristica dell'emissione delle superfici alle temperature ambientali).

Uno schema semplificato del bilancio energetico applicato al materiale di copertura della serra, che evidenzia l'"effetto serra", è indicato nella successiva Figura 13:

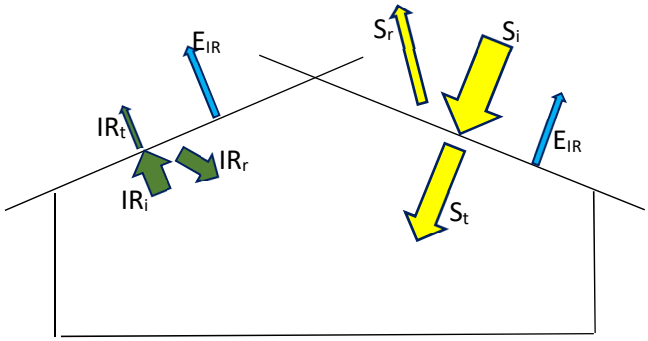


Figura 13: caratterizzazione dell'effetto serra generato dall'interazione selettiva del materiale di copertura con le radiazioni a differenti lunghezze d'onda S radiazione solare, IR radiazione infrarossa emessa dagli oggetti interni alla serra, E radiazione emessa verso l'esterno (pedice i=incidente, r=riflessa t= trasmessa)

Il vetro ed alcuni film plastici possiedono proprietà idonee per esser impiegati nelle coperture delle serre. Le informazioni in letteratura sono scarse e non facilmente reperibili, soprattutto per la caratterizzazione delle proprietà dei film di involucro, ed in particolare i dati collegati al mantenimento nel tempo delle caratteristiche di comportamento alla radiazione solare ed infrarossa. Un riassunto delle proprietà riscontrabili in letteratura è fornito nella Tabella 1.

Materiali	Spessore mm	Radiazione visibile 380-760 nm			Radiazione solare tot. 330-2500 nm			Radiazione infrarossa 2500-35000 nm	
		Luce diretta		Luce diffusa	Luce diretta		Luce diffusa		
		T	R	T	T	R	T	T	R
Film plastici									
Polietilene (PE)	0,10	91	8	90	91	8	89	79	2
PE lunga durata	0,10	89	10	86	88	9	82	76	4
Cloruro di polivinile (PVC)	0,10	92	7	91	91	7	89	6	32
Etilenvinilacetato	0,10	92	8	76	91	7	75	39	3
Lastre rigide									
Vetro lucido	3,4	91	8	91	89	8	88	1	12
Polimetacrilato (alveolare)	8,0	87	13	70	82	12	63	1	7
Policarbonato (alveolare)	6,0	78	17	62	77	16	59	3	9
Poliestere (ondulato)	1,3	87		-	73-78		-	4	-
PVC (ondulato)	1,1	87		75			5		
Polimetacrilato (ondulato)	2,2	92		-	86		-	1	-

Tabella 1: Coefficienti di trasmissione (T) e riflessione (R), per le diverse radiazioni (diretta e diffusa) in materiali impiegati per la copertura delle serre [1,2,3,4]

La scelta del materiale di involucro, per le tipologie di serre considerate oggetto di questo progetto, ricade sul film plastico EVA, materiale già utilizzato presso la Serra del Vivaio Martini e per il quale è stato possibile prelevare campioni di materiale nuovo ed usato (dismesso da una sostituzione della copertura di una serra) sui quali sono state effettuate delle prove sperimentali volte a caratterizzarne il comportamento radiativo.

2.1 Attività sperimentale

L'attività sperimentale è stata volta a fornire i corretti parametri da impostare nel processo di simulazione numerica del comportamento della serra. In particolare, avendo la possibilità di monitorare una serra reale presso il vivaio Martini a Pistoia, le attività di simulazione e sperimentali sono state indirizzate sul caso studio. Sono state ottenute stime e valutazione delle proprietà radiative del materiale di copertura della serra usate presso il Vivaio Martini ed è stata installata una sonda di misura del profilo verticale di temperatura della serra.

2.1.1 Determinazione delle proprietà radiative del materiale selettivo per la copertura della serra.

La misura delle proprietà radiative del materiale di copertura della serra oggetto del caso studio è di fondamentale importanza al fine di poter correttamente caratterizzare il materiale nella simulazione numerica. Deve dunque esser caratterizzato il comportamento radiativo (selettivo) del materiale di copertura sia per l'interazione con la radiazione solare e diffusa che con la radiazione infrarossa con lunghezze d'onda maggiori emessa dalle superfici a temperatura ambiente.

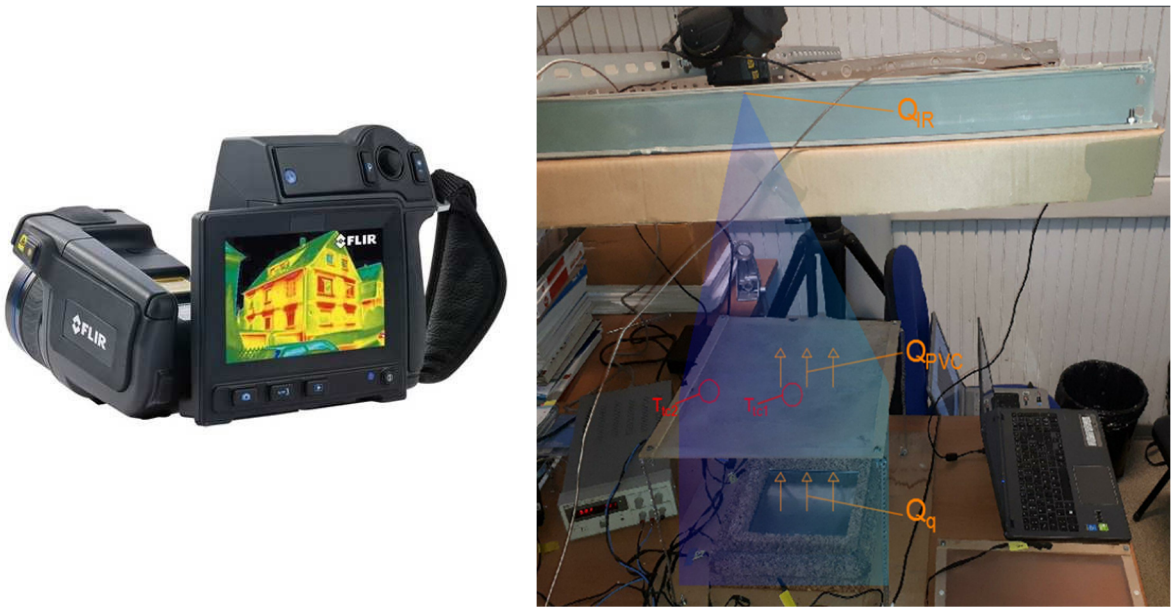
Sono stati prelevati presso il Vivaio Martini dei campioni del materiale tipicamente usato per la copertura superiore e laterale delle serre. Un telo in EVA, sia nuovo che usato (con circa 3 anni di esposizione sul manto di copertura di una serra). Su questi campioni sono stati eseguiti alcuni test sperimentali.

2.1.1.1 Stima delle proprietà di trasparenza alla radiazione infrarossa del materiale di copertura della serra

Sono state eseguite delle preliminari stime delle proprietà radiative nel campo dell'infrarosso lungo (5-20μm) corrispondente allo spettro delle radiazioni caratteristiche dei corpi a temperatura ambiente. Le misure sono state eseguite presso il Laboratorio di Fisica Tecnica de Dipartimento di Ingegneria Industriale usando la seguente strumentazione:

- Termocamera Flir T620bx;
- Acquisitore National Instruments CompactDAQ Chassis CDAQ 9174 con modulo NI9219 4 canali modulo Ingressi Analogici e modulo 9214 16 canali per termocoppie (la strumentazione è stata acquistata e rendicontata nel piano finanziario);
- Personal computer per la registrazione dei dati acquisiti.
- Sistema di riscaldamento ad emissività controllata, alimentato in corrente continua e regolabile.
- Termocoppie T (sono stati acquistati e rendicontati nel piano finanziario i materiali necessari alla realizzazione delle termocoppie) tarate con termoresistenza di riferimento 1/10DIN in bagno termostatico.
- Telaio di supporto per il posizionamento del campione di EVA.

Il sistema in misura è rappresentato in Figura 14.



a) b)

Figura 14: a) termocamera, b)strumentazione in opera per la misura della trasparenza del telo EVA per radiazioni da corpo grigio a temperatura fra 30 e 70°C

Riscaldando la superficie emittente del sistema di riscaldamento l'inquadratura della termocamera (Q_{IR}) riscontra una temperatura "apparente" sul telo EVA (vedi Figura 15) che è funzione della radiazione emessa dal telo stesso (Q_{PVC}) e della quota trasmessa della radiazione (Qq) emessa dal sistema di riscaldamento con superficie ad emissività nota. La lettura con termocoppie calibrate, della reale temperatura del telo sia nella zona indisturbata (Bx1) che nella zona di trasparenza "apparente" (Bx2) della termocamera, come anche della temperatura della superficie emittente del sistema di riscaldamento permette di valutare una preliminare stima del coefficiente di trasparenza da impostare nelle equazioni di bilancio dello scambio termico radiativo della termocamera.

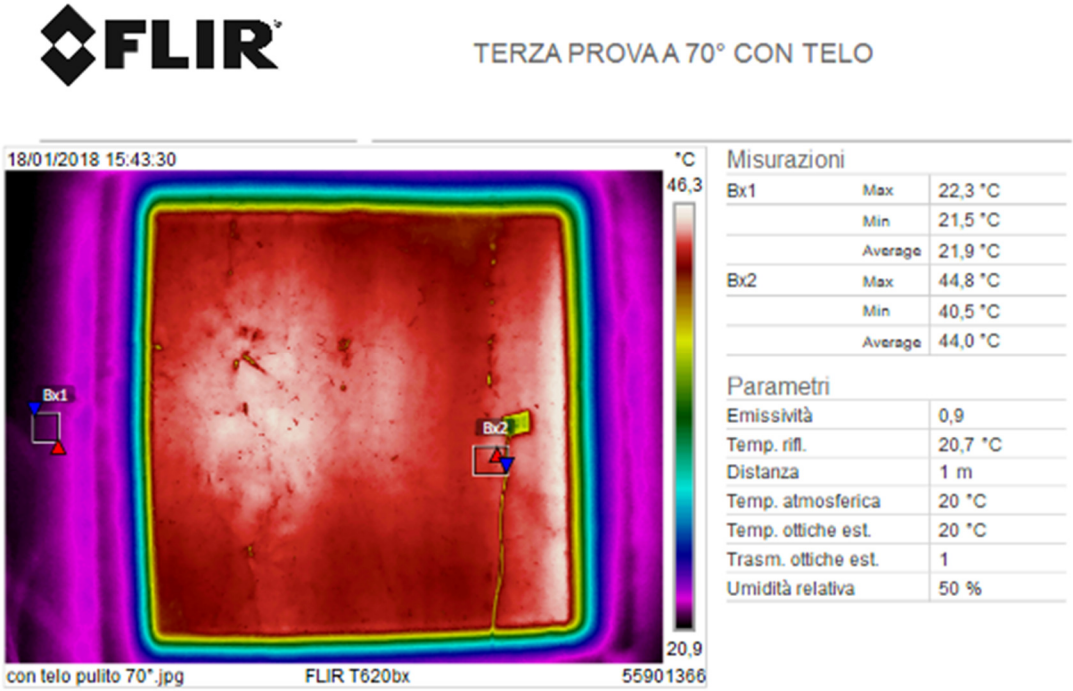


Figura 15: esempio di immagine termografica ottenuta nella prova con temperatura della superficie scaldante a 70°C. Le due termocoppie tarate, posizionate in zona Bx1 (indisturbata) e Bx2 (disturbo apparente) continuano a leggere la stessa temperautra di 21.9°C

Le misure sono state effettuate con temperature della zona riscaldata emittente (Qq) fra 30°C e 70°C, ottenendo i seguenti risultati:

30°C				
Ttc1	Tir1	Ttc2	Tir2	
23,4	25,8	21	21	°C
296,55	298,95	294,15	294,15	K

→ $t_{IR(30°C)}=0.03$

50°C				
Ttc1	Tir1	Ttc2	Tir2	
28,4	32,9	21,4	21,4	°C
301,55	306,05	294,55	294,55	K

→ $t_{IR(50°C)}=0.045$

70°C				
Ttc1	Tir1	Ttc2	Tir2	
39,9	44	21,9	21,9	°C
313,05	317,15	295,05	295,05	K

→ $t_{IR(70°C)}=0.04$

2.1.2 Misura delle proprietà di trasparenza del telo EVA

Le proprietà radiative di trasmissione (totale e diretta) e riflessione (totale) nello spettro compreso fra 0.3 e 20µm (comprendendo la radiazione visibile, solare ed infrarossa) sono state misurate mediante spettrofotometro presso i laboratori di INO-CNR. Le misure sono state effettuate sia per il telo nuovo che per

il telo usato, mostrando i risultati illustrati in Figura 16, Figura 17 e Figura 18. Una più estesa trattazione sui materiali e metodi delle misure è contenuta in [5].

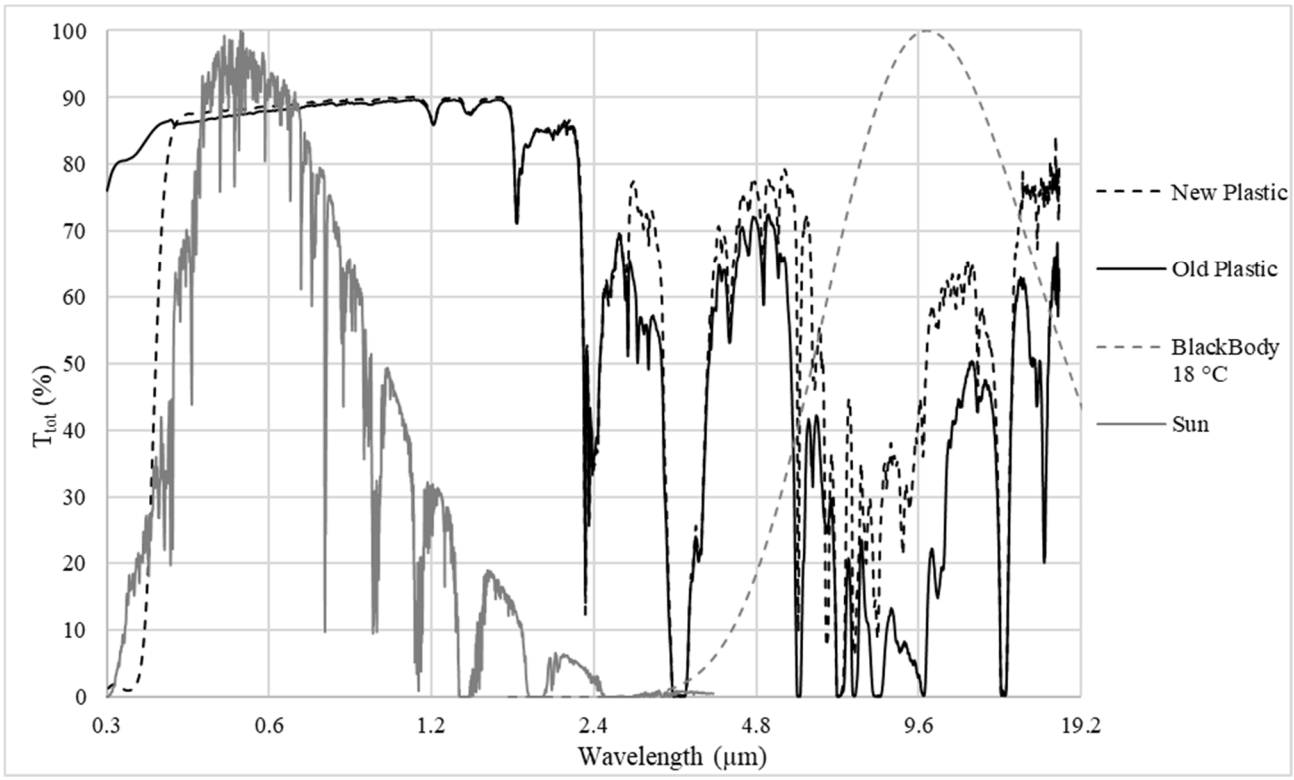


Figura 16: Trasmissione totale dei teli EVA di copertura della serra confrontati con lo spettro della radiazione solare e di un corpo nero alla temperatura di 18°C.

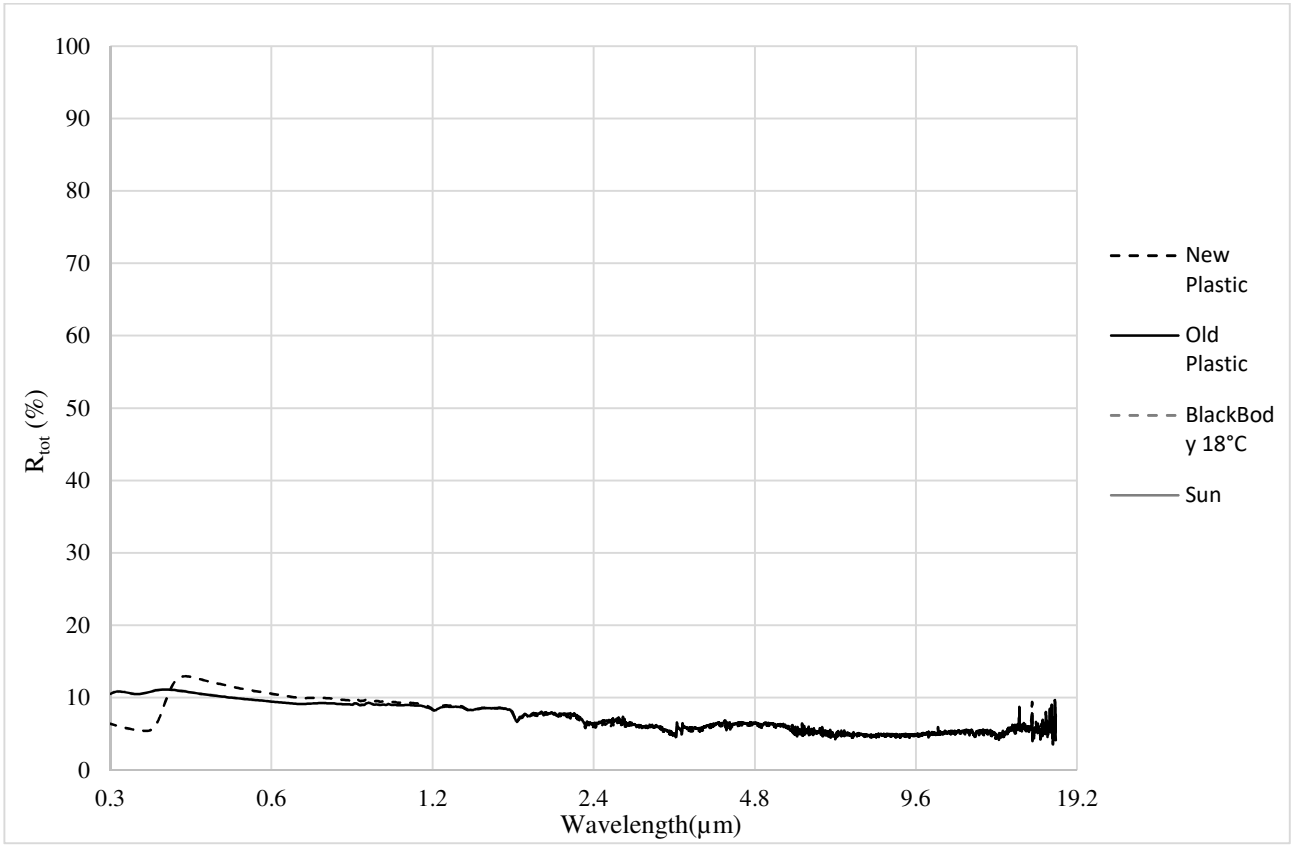


Figura 17: Trasmissione totale dei teli EVA di copertura della serra

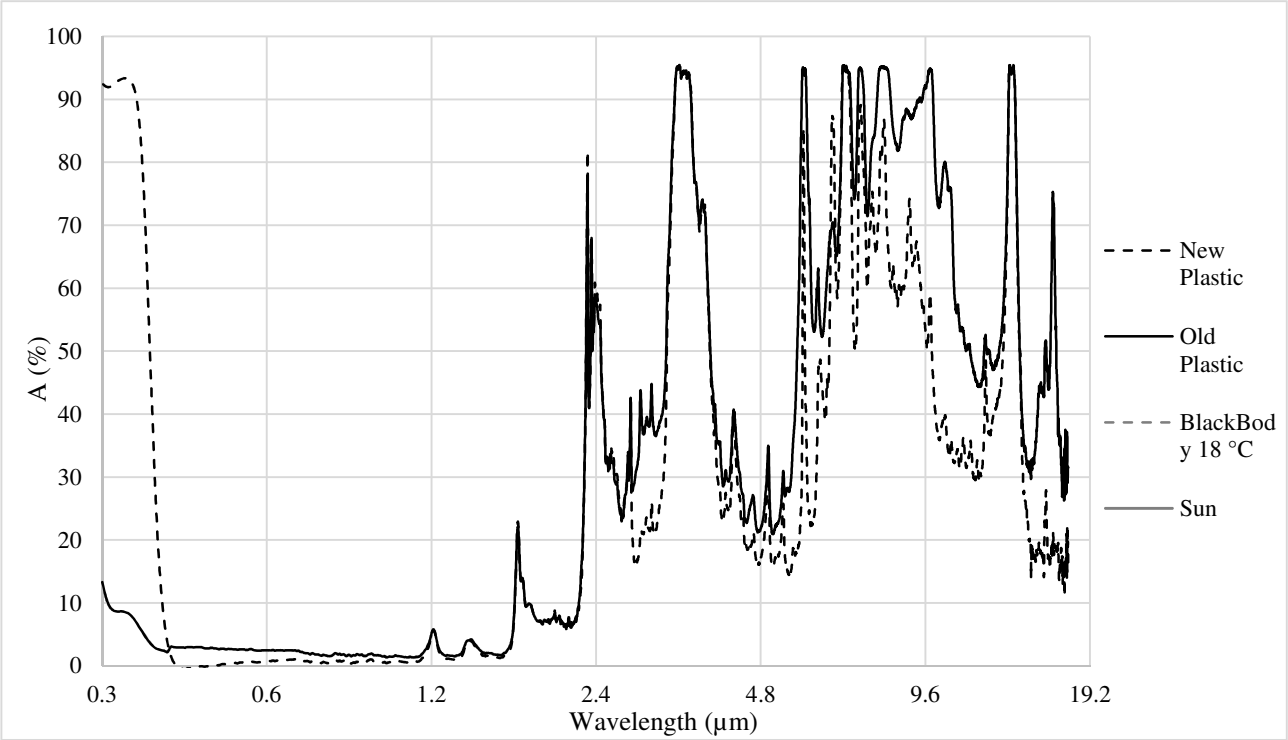


Figura 18: Assorbimento dei teli EVA di copertura della serra

In relazione ai risultati ottenuti è possibile osservare che nel campo della radiazione solare il telo nuovo e quello usato hanno circa lo stesso comportamento, ad esclusione di una trasmissione minore per il telo nuovo per le radiazioni visibili della zona del blu (0.3-0.4µm). E' possibile considerare in questa zona di spettro una trasmissione costante circa pari al 90%, mentre nel campo dell'infrarosso lungo (radiazione termica a temperatura ambiente) l'andamento della trasmissione è molto variabile come di conseguenza il coefficiente di assorbimento vista la quasi costanza del coefficiente di riflessione. Dall'osservazione dei risultati ottenuti è possibile trarre le informazioni necessarie a caratterizzare, nella simulazione numerica, il comportamento radiativo dell'elemento trasparente di copertura e delle pareti laterali della serra stessa. Il codice numerico richiede per gli elementi trasparenti di definire un valore della trasmissione, riflessione ed assorbimento sia per le lunghezze d'onda caratteristiche della radiazione solare che per quelle della radiazione infrarossa lunga. Dovendo quindi definire dei valori costanti è possibile mediare i valori monocromatici ottenuti nei rispettivi campi di lunghezze d'onda afferenti a ciascuna zona radiativa richiesta. Per lo spettro infrarosso è possibile stimare per il telo EVA nuovo una trasmissione totale pari a 50% ed un coefficiente di assorbimento pari circa a 40%. Il telo usato presenta invece un valore della trasmissione leggermente inferiore (circa il 35%) che sarebbe migliorativo per l'effetto serra. Le caratteristiche meccaniche del telo degradano comunque nel tempo.

2.1.3 Caratterizzazione del profilo di temperatura della serra

La serra del Vivaio Martini indicata nel caso studio ha una geometria, collocazione ed esposizione come riportato nei paragrafi introduttivi dell'Analisi Strutturale al capitolo 1. Ulteriore caratteristica da introdurre alla precedente descrizione è che nella serra è presente, ad altezza della base delle capriate, un telo diffondente di tessuto plastico con trama fine ma comunque permeabile all'aria. Le dimensioni della trama sono tali che il passaggio dell'aria è comunque fortemente ostacolato. Questo telo divide dunque il volume della serra in due zone, la zona a terra (che possiamo dunque schematizzare come un involucro rettangolare con terreno come pavimento e telo diffondente come soffitto) ed una zona sottotetto compresa fra il telo diffondente e la copertura semicilindrica. La funzione di questo telo è soprattutto quella di diffondere la radiazione solare

diretta che non risulti eccessivamente intensa sul piano di crescita delle piante. Si suppone però che questa suddivisione possa influire in modo importante anche sulle temperature interne alla serra creando una zona "tampone" fra la zona di base della coltivazione e l'esterno. Al fine di reperire corrette informazioni sulla distribuzione della temperatura interna alla serra è stata realizzata ed installata una sonda di acquisizione del profilo verticale di temperatura mediante termocoppie dirette e differenziali con sensori ogni metro di altezza partendo da una quota di 0.5m, secondo lo schema indicato in Figura 19.

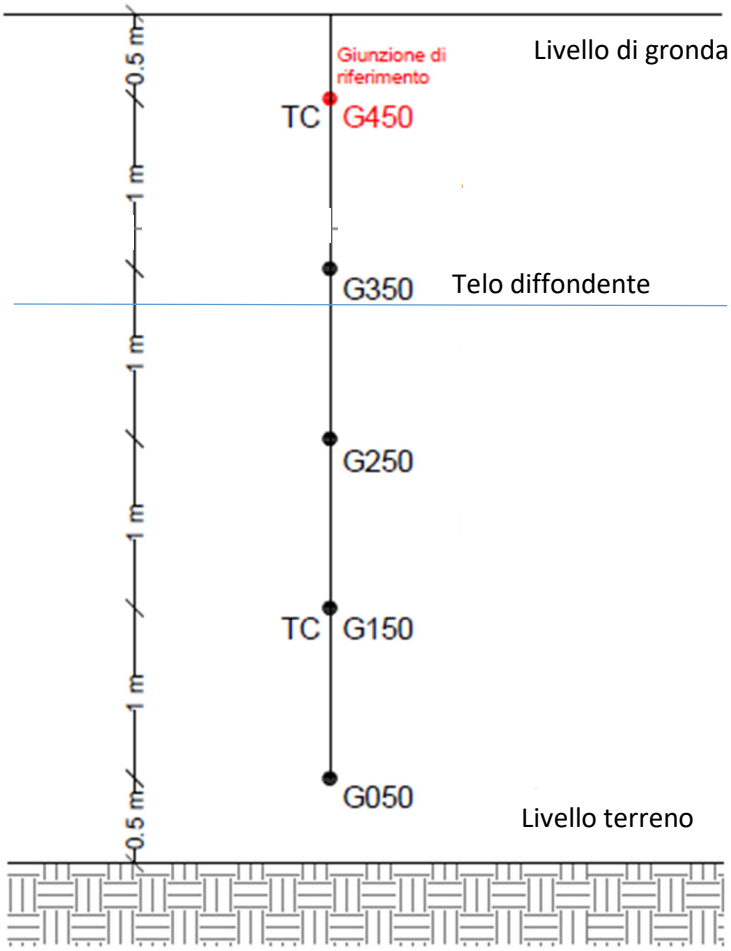


Figura 19: schema della sonda termocoppie per misura del profilo verticale di temperatura

La sonda termocoppia (TIPO T) di profilo verticale è installata in zona baricentrica rispetto alla pianta della serra. La funziona di tale sonda oltre ad investigare come la presenza del telo diffondente possa modificare la distribuzione di temperatura all'interno della serra, avrà anche il compito di monitorare la temperatura al variare delle condizioni esterne e di permettere di ottenere dei profili orari di temperatura che possano validare la soluzione della simulazione numerica. Per l'acquisizione del segnale della sonda è stato installato un sistema di acquisizione National Instruments CDAQ 9174 con modulo 9214 16 canali per termocoppie (la strumentazione è stata acquistata e rendicontata nel piano finanziario). Oltre alla sonda di profilo verticale è stata installata anche una termocoppia all'esterno della serra, in zona protetta dagli agenti atmosferici e dalla radiazione solare o ad altre fonti di calore, ma comunque esposta all'aria esterna. Le sonde di temperatura ed il sistema di acquisizione sono stati preventivamente schermati con alluminio e tarati presso il laboratorio di Fisica Tecnica mediante comparazione con termoresistenza PT100 con precisione 1/10DIN e utilizzo di bagno termostatico per la modulazione e stabilizzazione del campo di taratura da -20°C a 70°C.

Alcune immagini dell'installazione sono in Figura 20 in cui nell'immagine a destra si intravede una delle giunzioni della termocoppia fuoriuscente dallo schermo in alluminio.

Figura 20: Foto dell'installazione della sonda di profilo verticale di temperatura.

Vengono presentati nelle successive figure alcuni estratti delle misure eseguite durante il monitoraggio, caratteristiche delle diverse stagioni dell'anno.

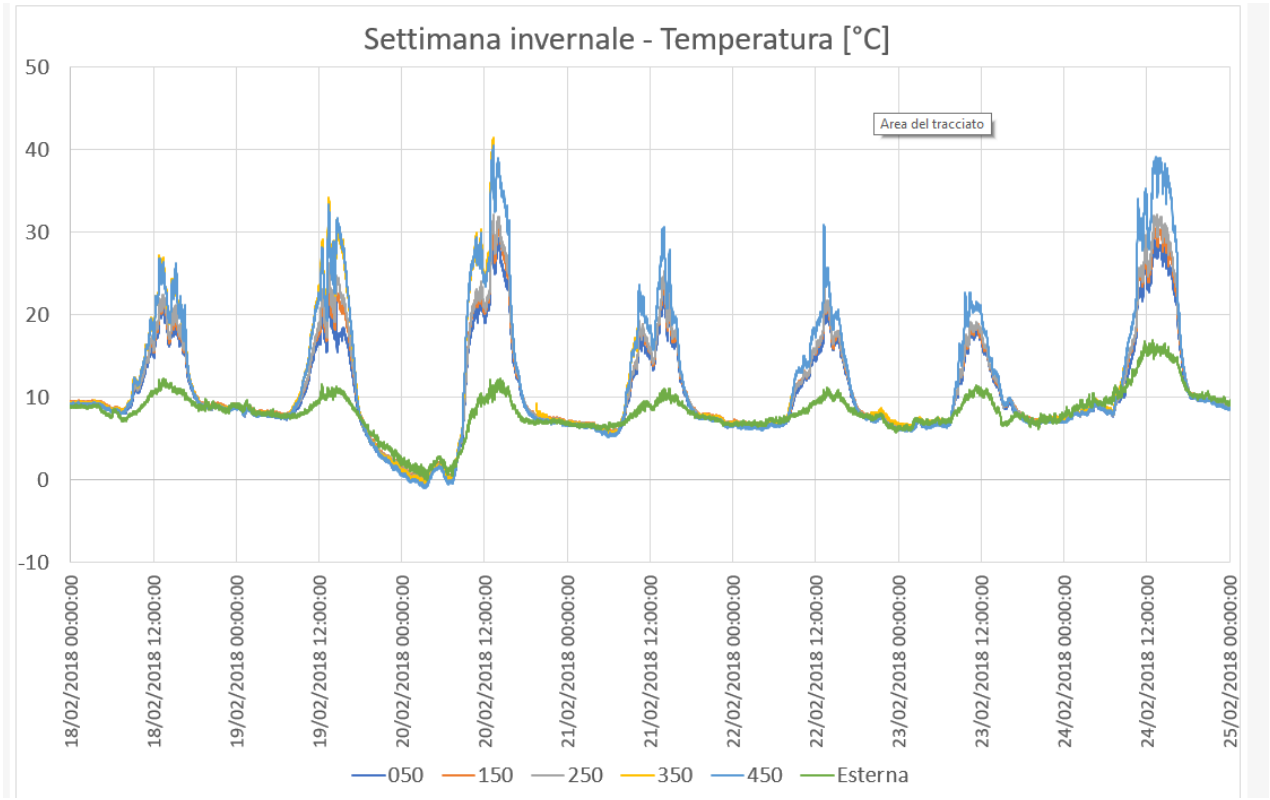


Figura 21: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nella settimana tipo invernale

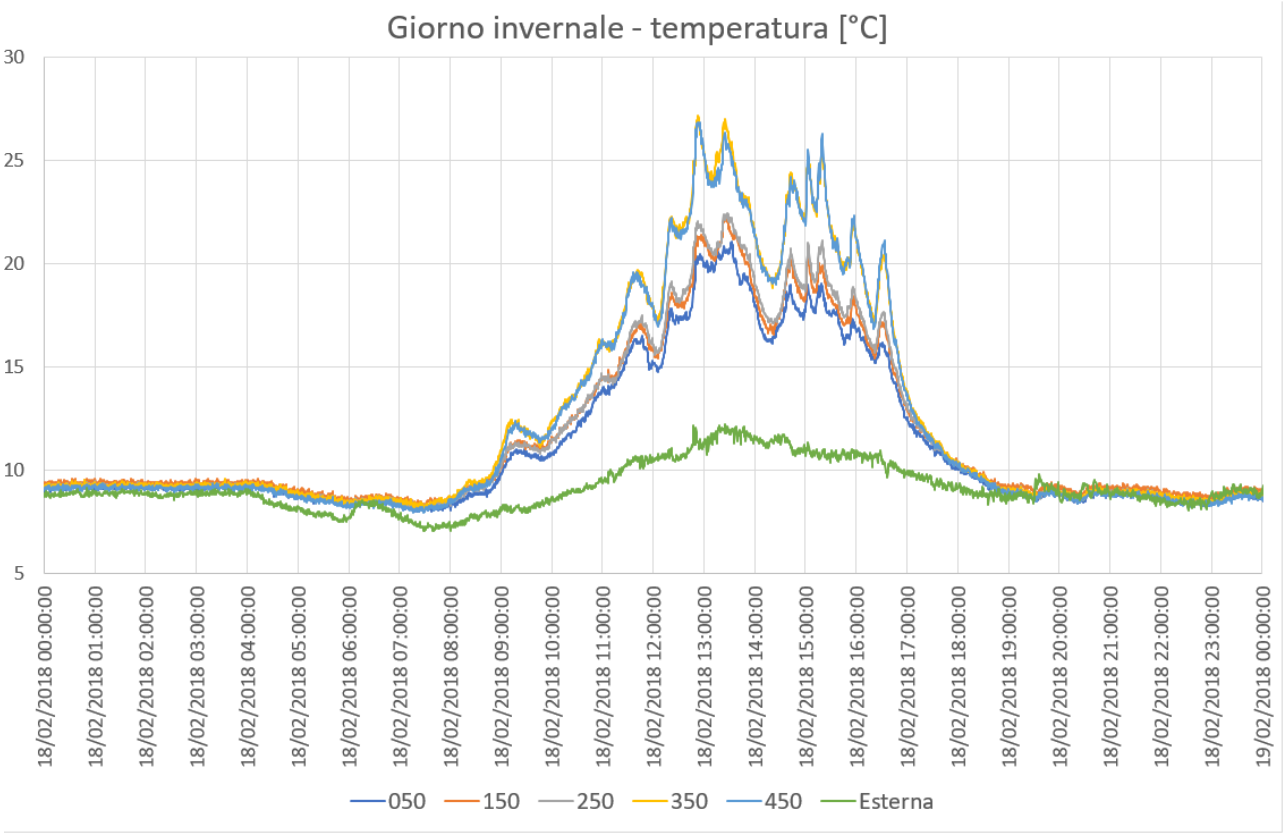


Figura 22: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nel giorno tipo invernale

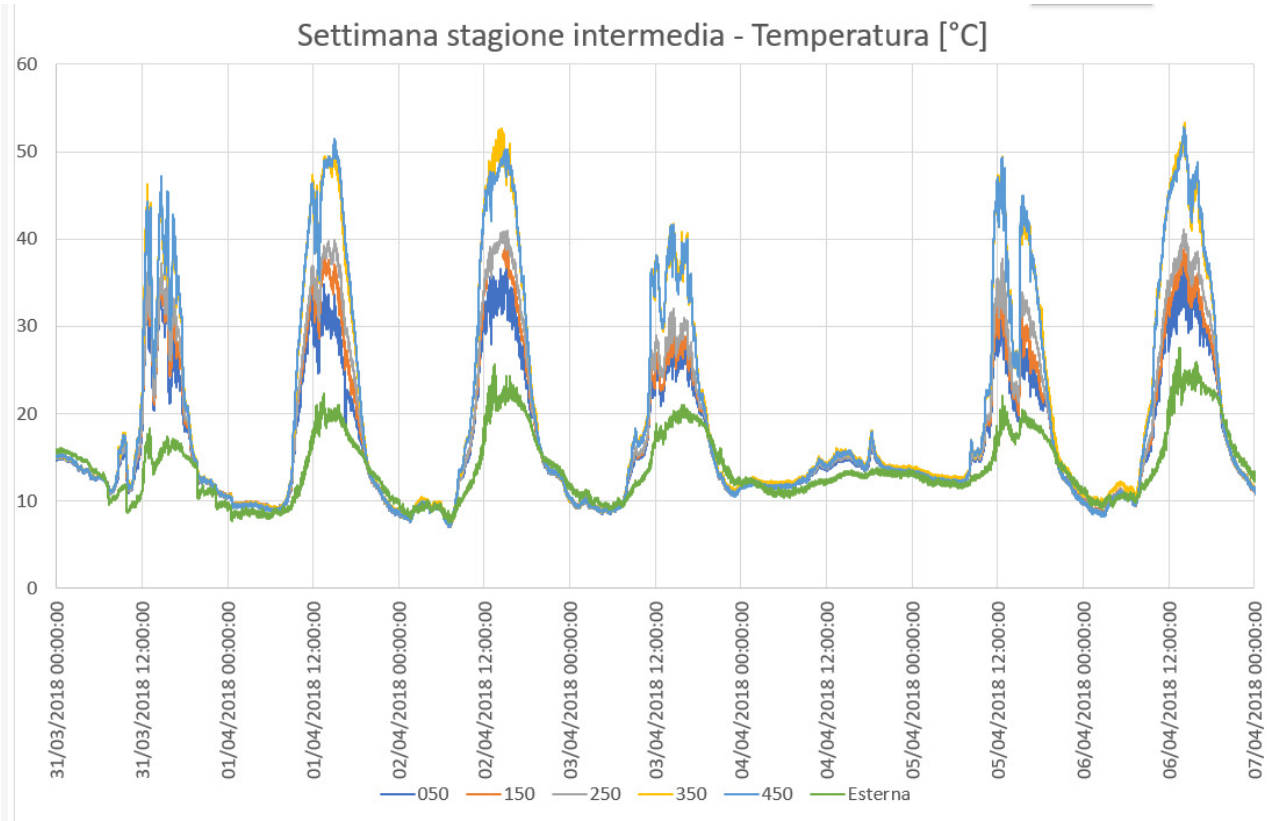


Figura 23: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nella settimana tipo stagione intermedia

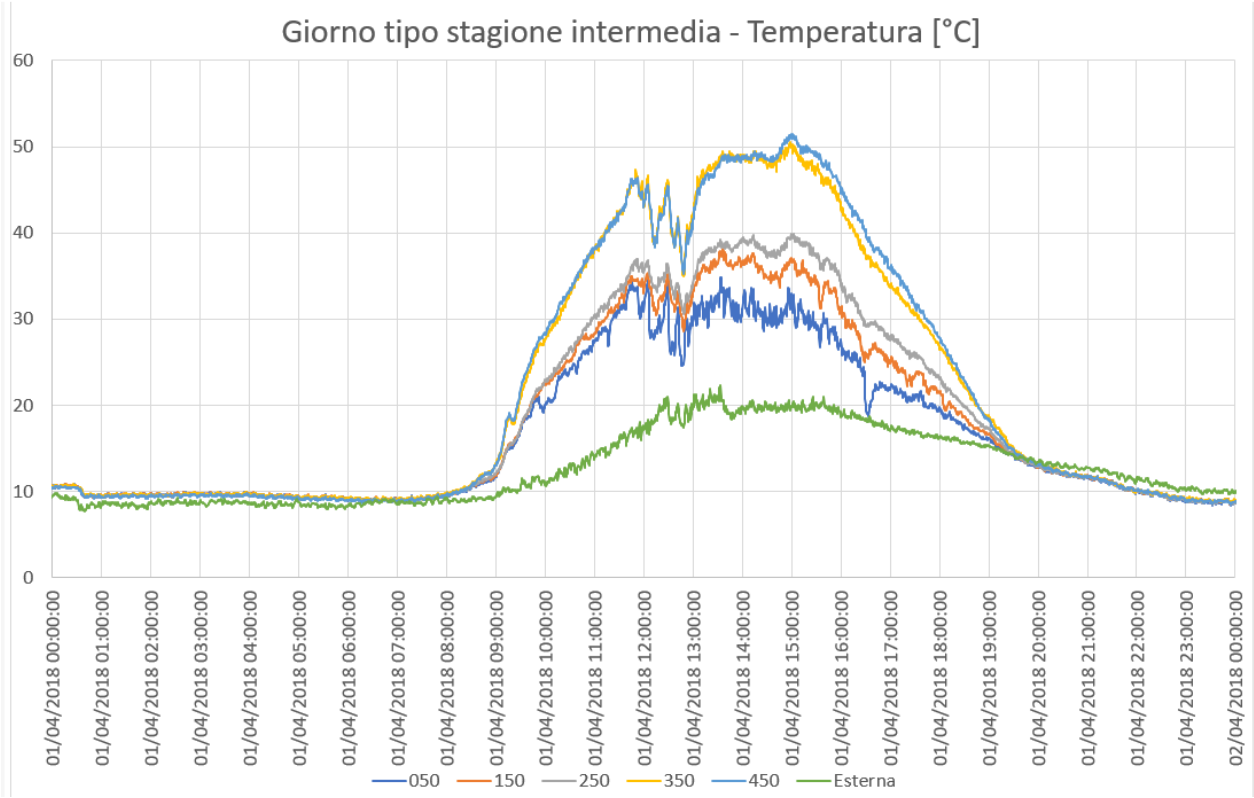


Figura 24: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nel giorno tipo stagione intermedia

Durante la stagione intermedia le temperature all'interno della serra aumentano in modo rilevante rispetto alla stagione invernale a causa del maggior peso dell'effetto serra. Durante la notte, in presenza di cielo sereno (come nel caso del giorno tipo di mezza stagione) le temperature interne alla serra scendono sotto alla

temperatura esterna, si suppone per effetto del forte irraggiamento verso il cielo, che la sonda di temperatura esterna non subisce in quanto posizionata in zona protetta.

Al fine di limitare il surriscaldamento durante la stagione estiva, le pareti della serra vengono aperte all'inizio della stagione più calda, ovvero parte del telo di copertura della parete laterale viene riavvolto creando una apertura sulle pareti laterali verso nord e verso sud una apertura continua modulabile in altezza in funzione della necessità e delle condizioni esterne. I dati misurati dalle sonde della termocoppia di profilo verticale di temperatura sono rappresentati nelle successive figure.

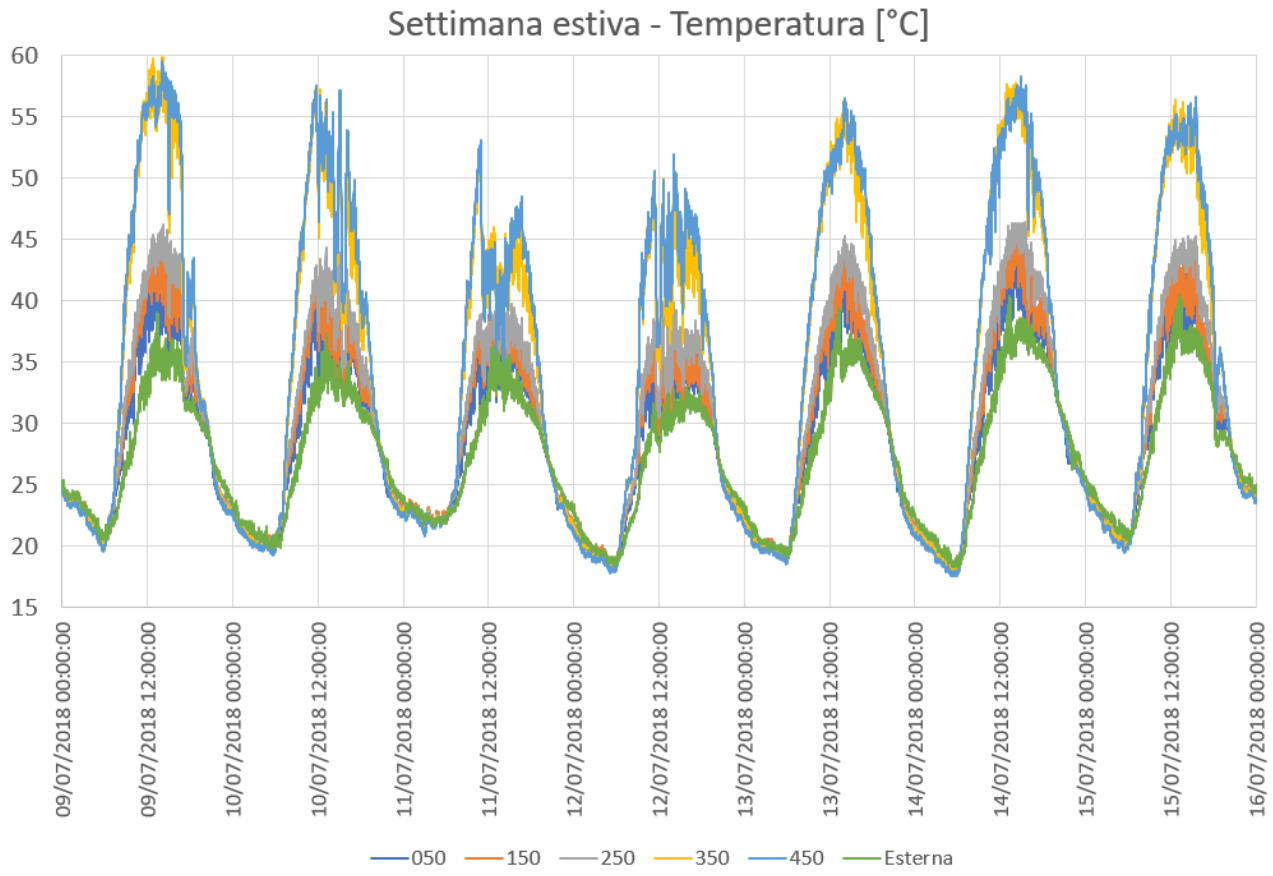


Figura 25: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nella settimana estiva

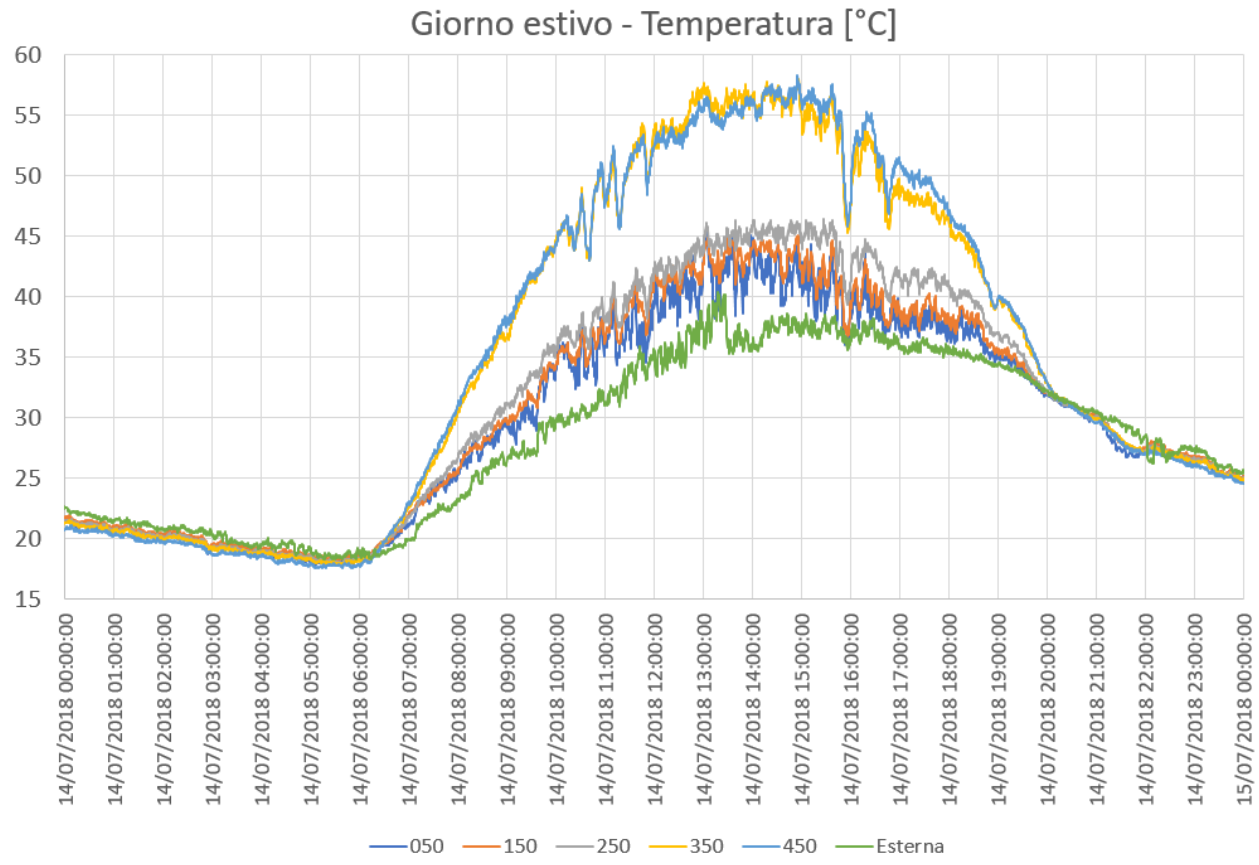


Figura 26: andamento delle temperature delle termocoppie di profilo verticale nel giorno tipo estivo

Le temperature, durante l'estate si mantengono sempre sotto ai 45°C (tranne rare e marginali eccezioni nel mese di agosto) nella zona inferiore, mentre nella zona sottotetto raggiungono facilmente temperature oltre i 50°C durante l'arco dei tre mesi estivi.

2.2 Simulazione numerica

E' stato impiegato un software di simulazione dinamica del bilancio termico degli edifici al fine di simulare l'interazione fra la temperatura delle zone della serra e le forzanti esterne. Il software in esame è un software commerciale, in licenza educational, denominato DesignBuilder, che utilizza un motore di calcolo per il bilancio energetico basato su EnergyPlus. La modalità di calcolo del software si presta al calcolo dinamico del bilancio energetico degli edifici e degli impianti ad esso a servizio. Nel caso di una serra, la mancanza di massa dell'involucro edilizio, e dunque di inerzia termica, rende l'uso del software limitativo, ma coerente con gli obiettivi dello studio. La possibilità di analizzare a passo orario (e sub-orario mediante interpolazione dei dati orari rilevanti parametri climatici della zona di Pistoia, presentati a titolo di esempio per il mese di gennaio in figura), rendono il software molto versatile per la determinazione dei parametri termici rilevanti di un ambiente confinato.

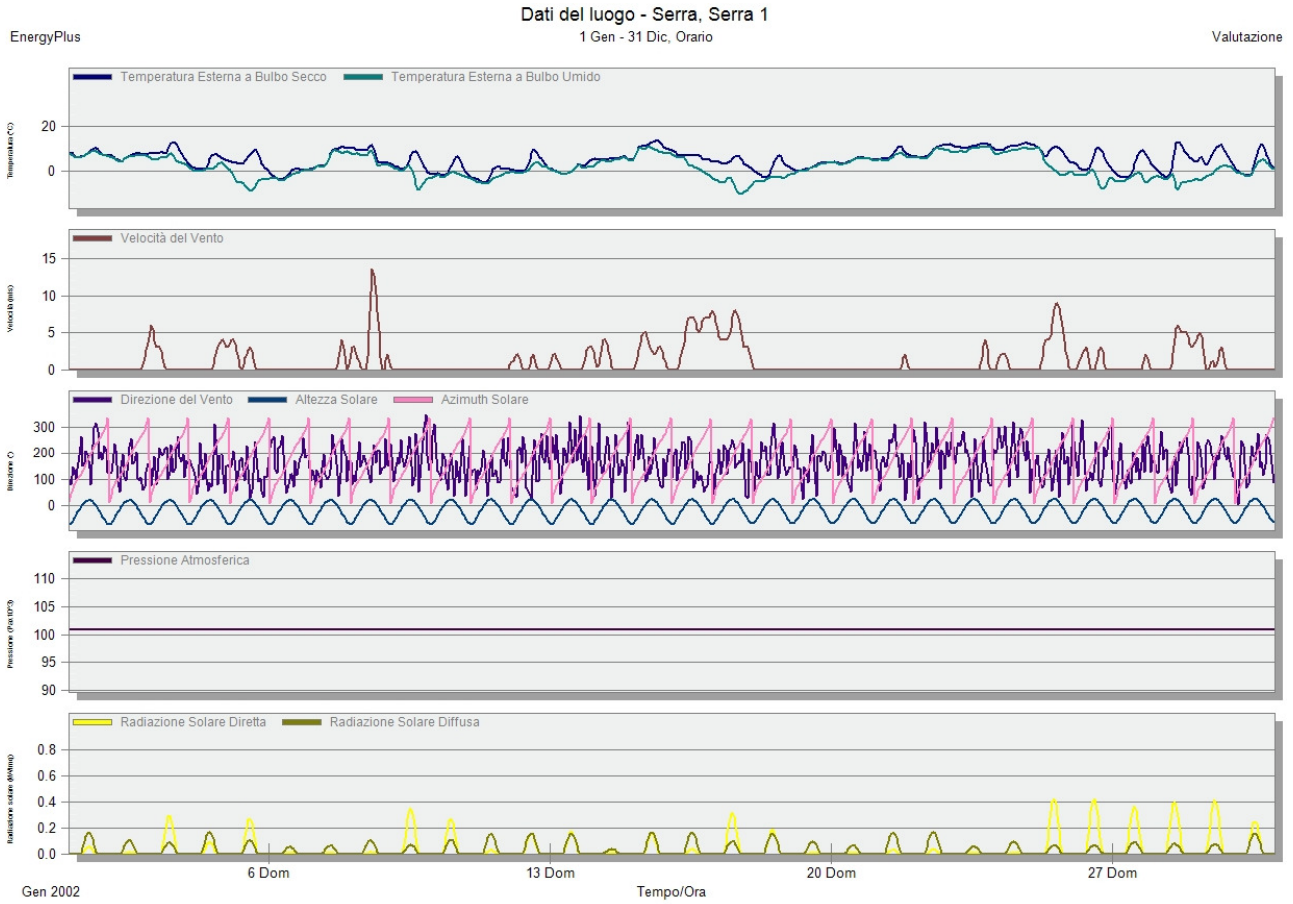


Figura 27: esempio di dati climatici per la zona di Pistoia nel mese di gennaio.

Con DesignBuilder è possibile schematizzare il comportamento radiometrico degli elementi trasparenti dell'involucro assegnando ai materiali del software caratteristiche di trasmissione e riflessione sia nelle lunghezze d'onda del visibile che in quello del solare e dell'infrarosso. Parimenti è possibile assegnare proprietà radiometriche e termiche al telo diffondente ed al terreno. Dalle prove sperimentali effettuate sui campioni di telo EVA sono stati ricavati i valori da assegnare ai rispettivi parametri radiometrici richiesti dal software, e per il telo diffondente ed il terreno sono stati utilizzati dei materiali già esistenti nella libreria del programma. I ponti termici legati alla presenza del telaio strutturale sono stati trascurati.

Un ulteriore parametro fondamentale nel bilancio energetico della serra sono le infiltrazioni. Non avendo possibilità di fare prove di permeabilità della struttura, che è sempre rimasta disponibile per le attività lavorative del vivaio, è stato necessario ricavare, iterativamente, le opportune condizioni di permeabilità della struttura misurando i risultati della simulazione ottenuta con i dati di temperatura ricavati dal monitoraggio con le termocoppie per il profilo verticale di temperatura. Essendo il programma capace di operare a "parametri concentrati" (ovvero per ogni singola zona termica è possibile definire un unico valore della temperatura dell'aria) le temperature ottenuti dal monitoraggio in campo sono stati mediati per ottenere un valore medio per la zona inferiore (mediando le temperature di quota 0.50m, 1.5m e 2.5m) ed uno per la zona sottotetto (mediando le temperature di quota 3.5 e 4.5m). Le iterazioni sono servite a trovare un valore medio di permeabilità all'aria esterna dell'involucro che fosse adeguato a rappresentare l'andamento della temperatura interna rispetto al funzionamento invernale e della stagione intermedia, ed un valore di permeabilità per simulare il funzionamento estivo. Occorre precisare che nella simulazione le infiltrazioni fra la zona inferiore ed il sottotetto sono state trascurate, mentre il telo diffondente realmente installato presenta alcune interruzioni dovute a strappi o punti di passaggio dei cavi elettrici.

Le figure successive illustrano il confronto fra le simulazioni ottenute ed il profilo di temperatura misurato mediato per zona termica.

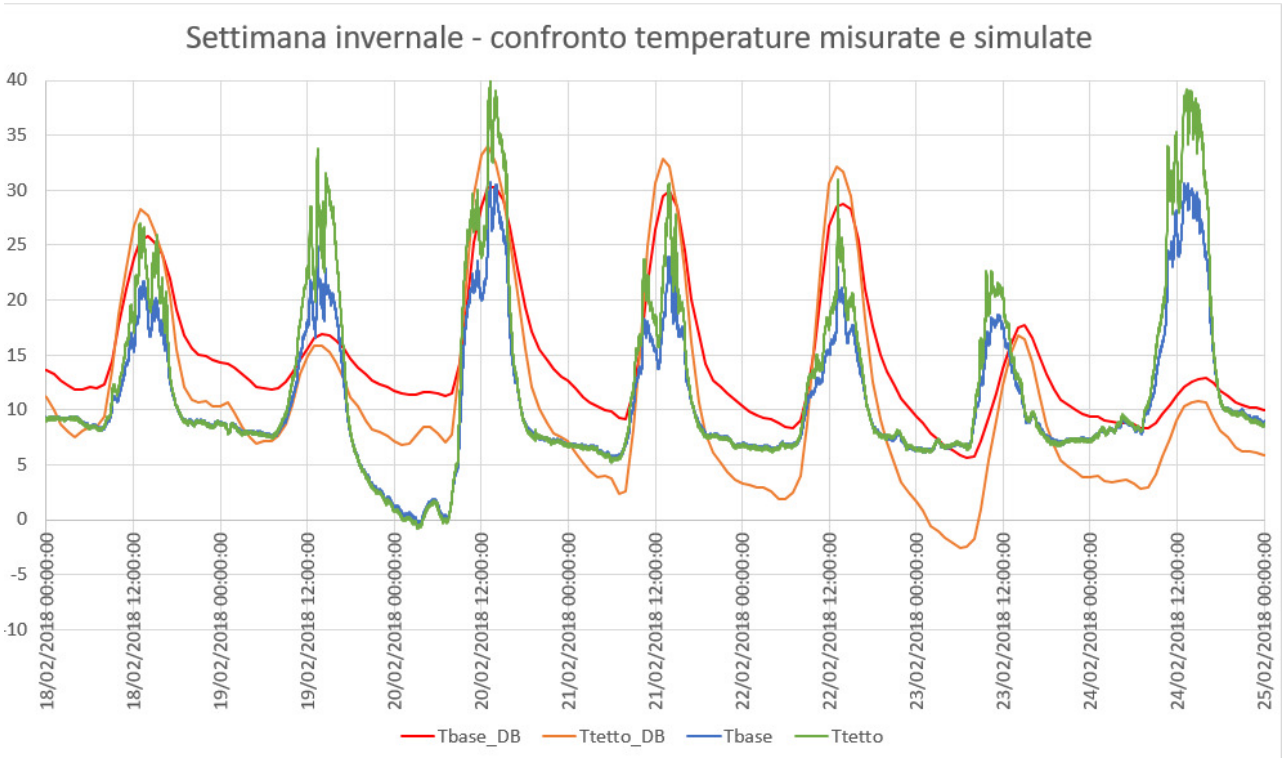


Figura 28: confronto andamento temperature dalla simulazione numerica e dei valori medi misurati per la stagione invernale (Tbase e Ttetto valori misurati, Tbase_DB e Ttetto_DB valori simulati).

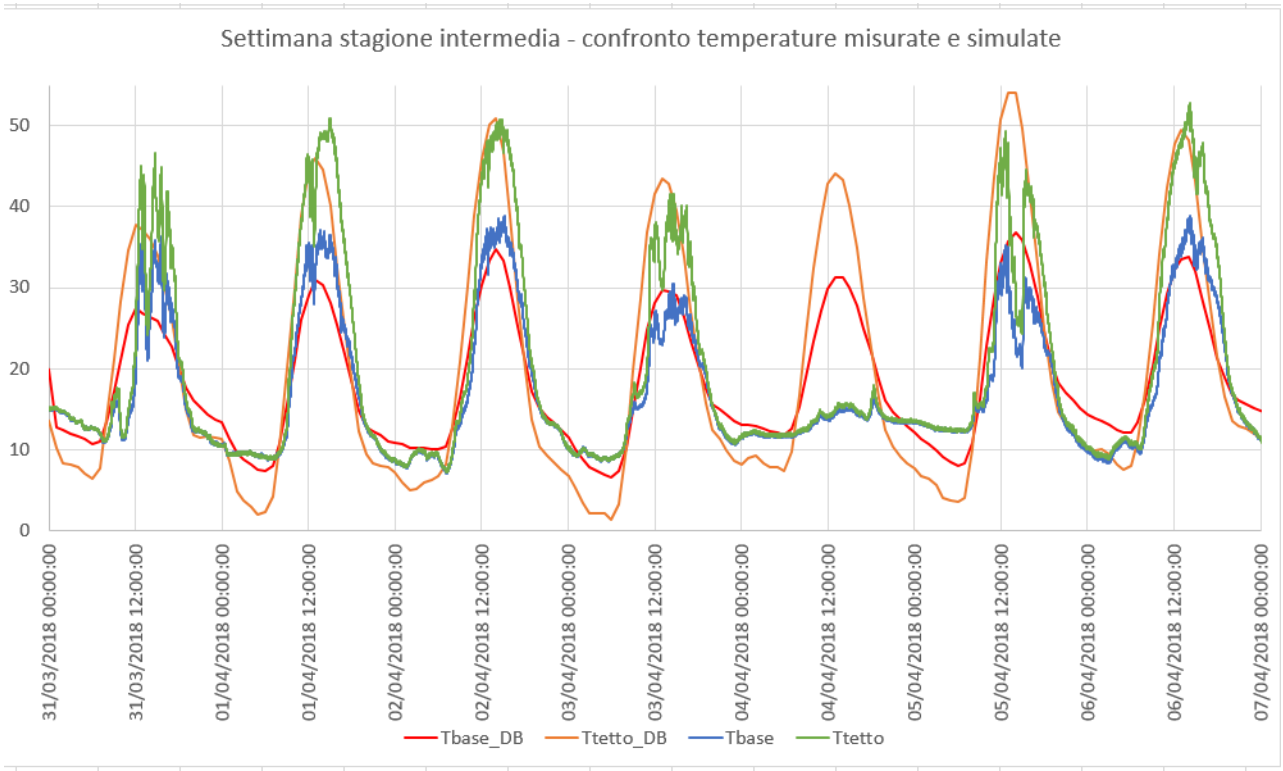


Figura 29: confronto andamento temperature dalla simulazione numerica e dei valori medi misurati per la stagione intermedia(Tbase e Ttetto valori misurati, Tbase_DB e Ttetto_DB valori simulati).

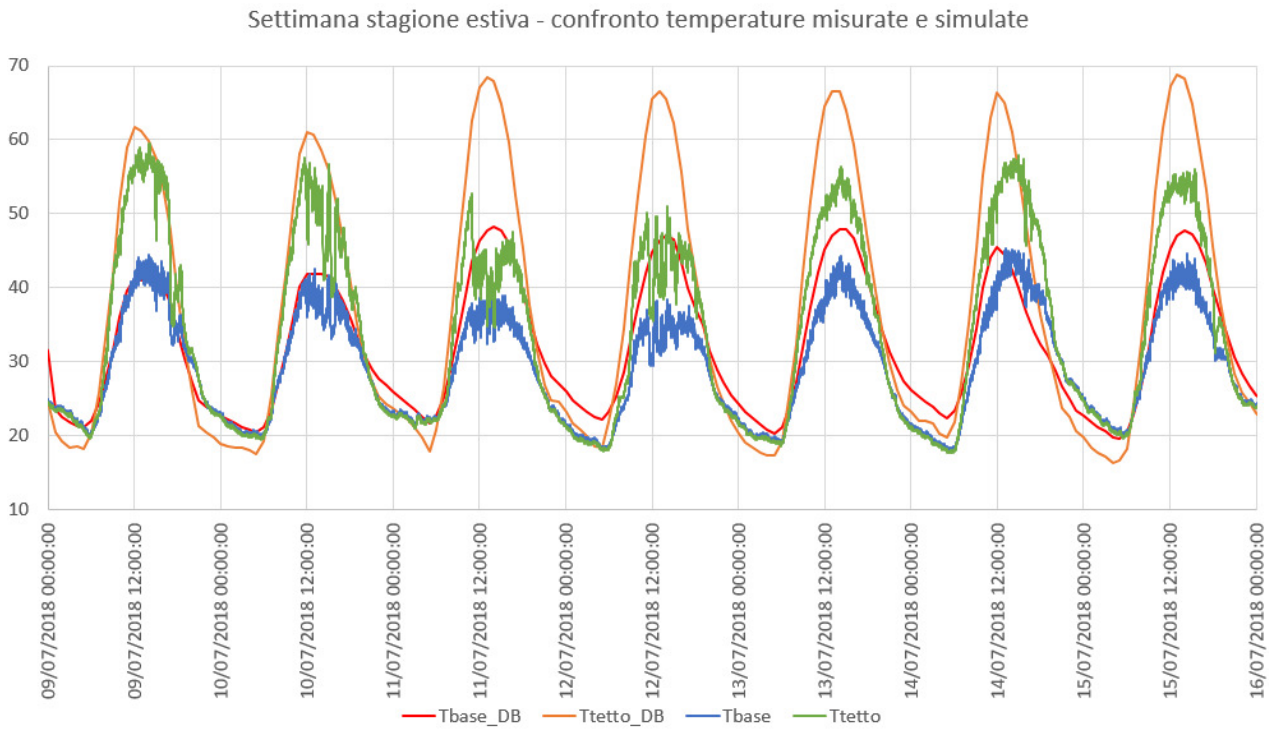


Figura 30: confronto andamento temperature dalla simulazione numerica e dei valori medi misurati per la stagione estiva(Tbase e Ttetto valori misurati, Tbase_DB e Ttetto_DB valori simulati).

Esaminando i precedenti confronti e considerando che i dati climatici del codice numerico sono forniti come dati medi su più anni di monitoraggio (annotipo) mentre i dati misurati risentono della contestuale variazione climatica dell'anno di misura, è possibile asserire che il codice numerico coglie gli stessi andamenti delle misurazione effettuate in loco, rappresentando coerenti valori di incremento di temperatura dovuto alla radiazione solare diurna mentre soltanto nella stagione estiva riesce a modellare con buona approssimazione l'andamento notturno della temperatura interna.

E' stato quindi possibile utilizzare la presente configurazione parametrica del modello ottenuto e validato per esaminare gli effetti dell'installazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura dell'edificio. È stata ipotizzata l'installazione di 24 pannelli fotovoltaici sulla falda esposta a sud della serra a sud. I pannelli sono stati modellati come corpi opachi, di colore scuro, di larghezza pari a 0.5m e lunghezza pari all'arco di cerchio fra la gronda ed il colmo della copertura. Fra ciascuna "striscia" fotovoltaica è interposta una zona trasparente (solo film plastico EVA) di larghezza pari a 0.5m.

E' stato possibile in questo modo verificare l'influenza della "ostruzione" relativa al pannello solare rispetto alla riduzione dell'"effetto serra" considerando però che, di contro, i pannelli fotovoltaici producono energia elettrica a servizio delle utenze del Vivaio. Considerando che le stagioni non invernali non rappresentano momenti critici per una riduzione dell'effetto serra, si concentra il confronto rispetto ai mesi invernali, nello specifico i mesi di Gennaio (Figura 31) e Febbraio (Figura 32).

Come si può evidenziare dai grafici le temperature non si discostano, soprattutto quelle legate al volume inferiore dove sono coltivate le piante, ed anche nei momenti di maggiore irraggiamento diurno la differenza fra la temperatura nella zona inferiore con o senza i pannelli fotovoltaici installati è sostanzialmente la stessa.

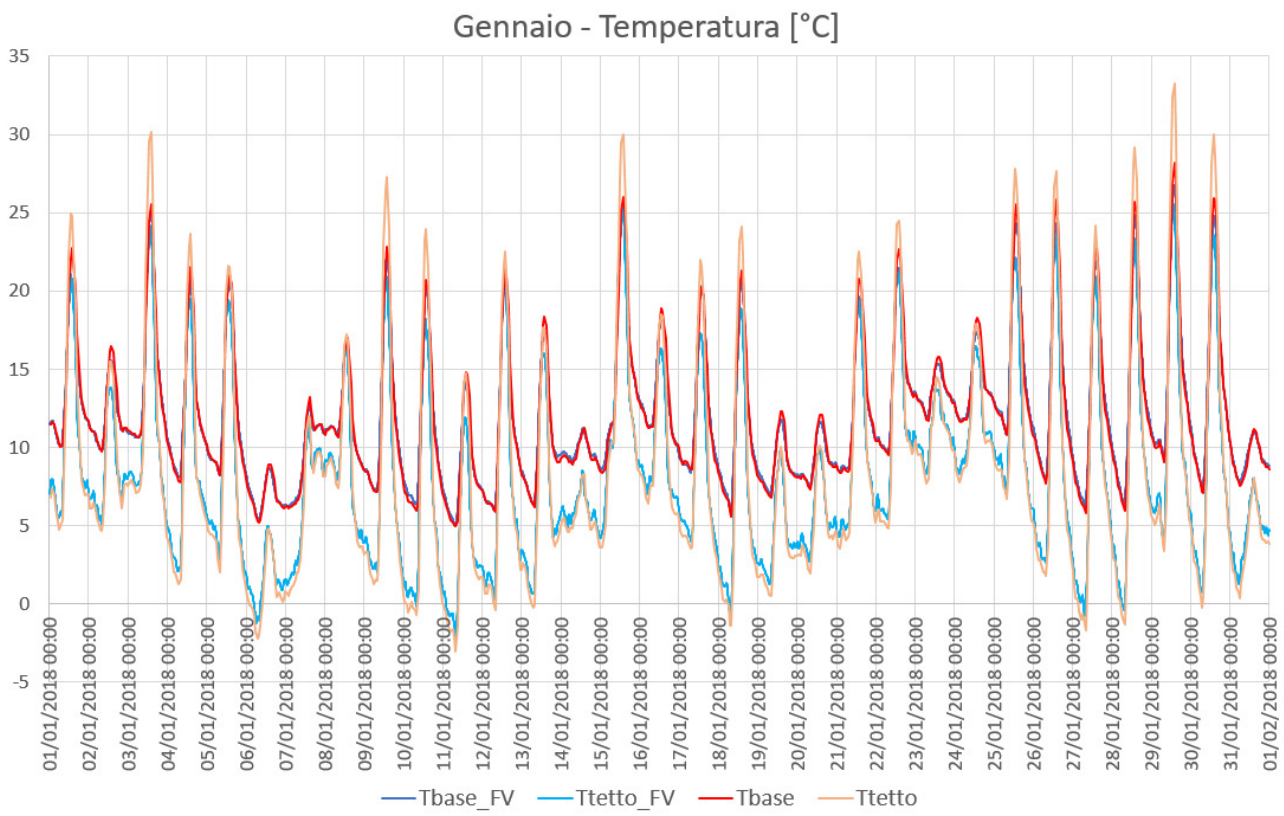


Figura 31: Confronto temperature interne alla serra con e senza impianto fotovoltaico integrato alla copertura nel mese di Gennaio(Tbase e Ttetto valori misurati, Tbase_FV e Ttetto_FV valori simulati con impianto fotovoltaico).

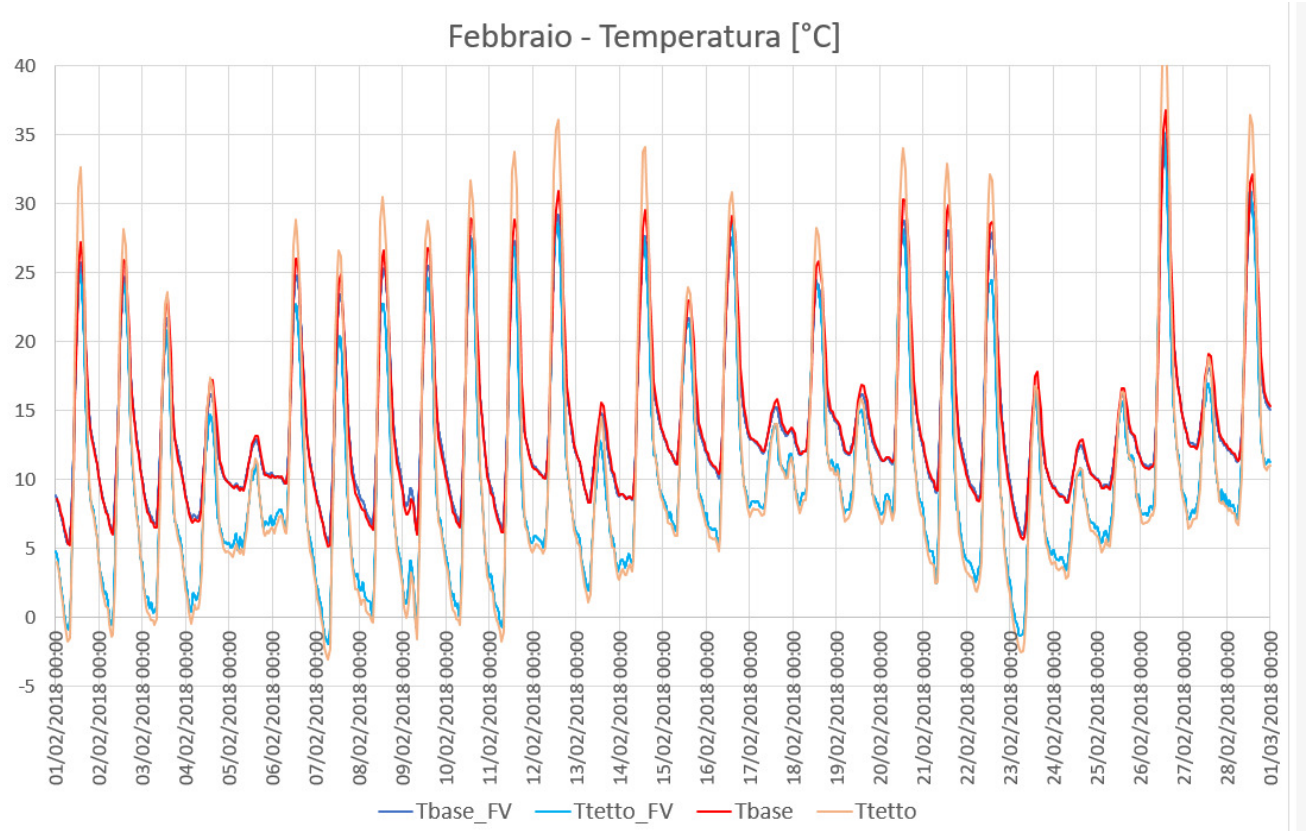


Figura 32: Confronto temperature interne alla serra con e senza impianto fotovoltaico integrato alla copertura nel mese di Febbraio (Tbase e Ttetto valori misurati, Tbase_FV e Ttetto_FV valori simulati con impianto fotovoltaico).

A margine della valutazione effettuate con la simulazione numerica è possibile evidenziare che la presenza del telo diffondente aiuta il mantenimento di una temperatura più alta durante la stagione invernale nella zona inferiore della serra, mentre durante la stagione estiva viene controllato il surriscaldamento di questa zona aumentando in modo considerevole i ricambi d'aria mediante apertura completa delle pareti laterali esposte a nord ed a sud. Lo stesso non si può dire della zona sottotetto, nella quale durante la stagione invernale le temperature salgono fino a 60°C. Appare opportuno ventilare anche la zona sottotetto nella stagione estiva, mantenendone invece una buona ermeticità durante la stagione invernale. In accordo con la proprietà del Vivaio Martini, sono state praticate delle ampie aperture di ventilazione sulla zona superiore delle facciate laterali esposte ad Est ed Ovest, chiudibili per la stagione non estiva. Si suggerisce inoltre di installare nella zona di sottotetto dei ventilatori di movimentazione dell'aria stagnante del sottotetto, in modo da ridurre la temperatura di questa zone migliorando anche il funzionamento dei pannelli fotovoltaici che si troverebbero quindi ad essere raffreddati. È a nostro parere opportuno evitare cortocircuitazioni d'aria e danneggiamenti del telo diffondente mediante una parziale canalizzazione dei ventilatori stessi e dotare il sistema di una accensione comandata da una sonda di temperatura posizionata all'interno della zona sottotetto al raggiungimento di una prestabilita temperatura di soglia.

3 Definizione delle condizioni al contorno per l'installazione del sistema fotovoltaico

Dalle risultanze delle analisi strutturali e di comportamento termico della struttura, si ritiene lecito considerare che la struttura della serra sia capace di sopportare una soluzione di installazione "distribuita" dei pannelli fotovoltaici, in cui i carichi (modesti) siano scaricati sulla copertura in modo non puntuale e concentrato, ma uniforme. È dunque ipotizzabile utilizzare pannelli fotovoltaici flessibili amorfi, incollabili ad un materiale di supporto, simile in consistenza, caratteristiche e modalità di tensionamento, al pannello trasparente della copertura della serra. Volendo considerare una collocazione idonea per lo sfruttamento della radiazione solare diretta è dunque ipotizzabile una installazione sulla faccia esposta a sud estesa anche alla zona più orizzontale del colmo del cilindro di copertura trasparente della serra. Occorre inoltre considerare la necessità di installare i pannelli intervallati fra loro così da creare un'alternanza di zone opache e trasparenti "a zebra" tale da garantire una diffusione omogenea della radiazione solare visibile sul piano delle colture protette al movimento est-ovest del sole durante l'arco diurno.

La soluzione finale per l'installazione dei pannelli fotovoltaici è stata concertata durante i sopralluoghi presso il vivaio e le riunioni presso gli uffici del nostro Dipartimento, con i responsabili del Vivaio e con i progettisti e professionisti da questi incaricati per seguire le pratiche amministrative e procedurali per l'installazione di un impianto fotovoltaico.

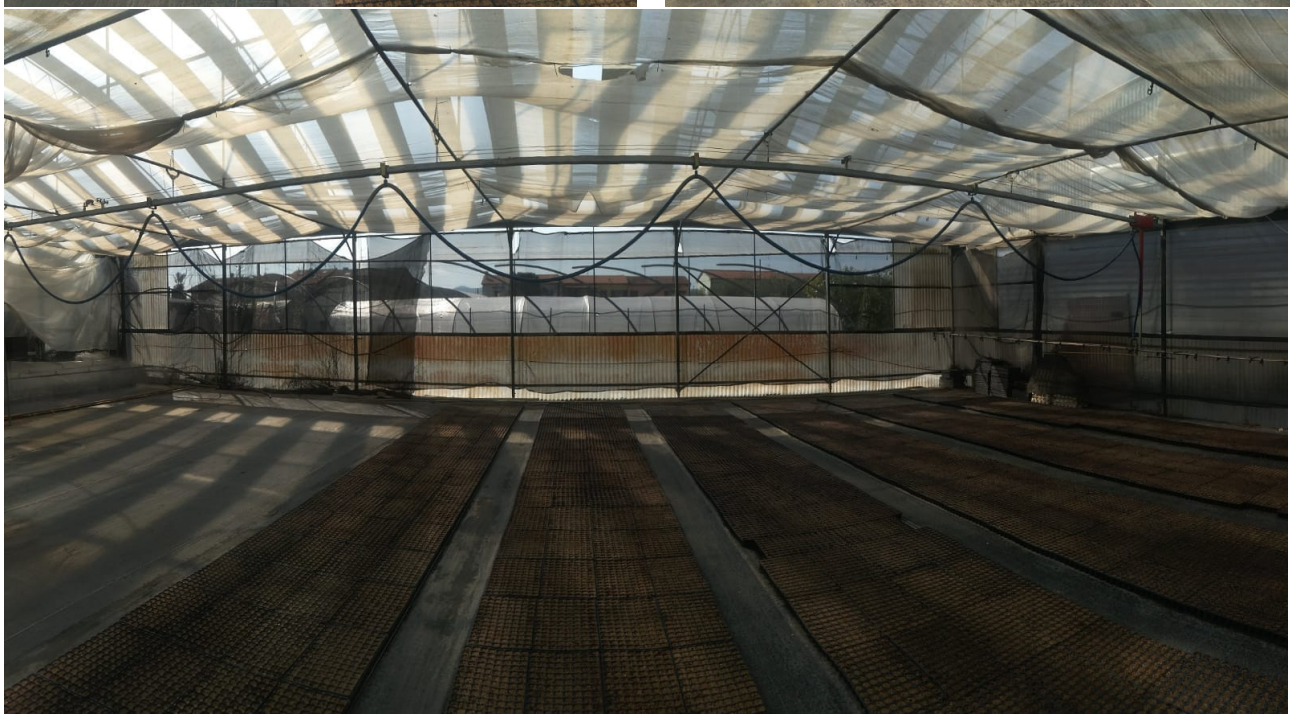
I tecnici incaricati dall'azienda vivaistica hanno stimato i profili di consumo di energia elettrica ed hanno determinato una potenza nominale di 6kW per l'impianto fotovoltaico. I carichi elettrici caratteristici della serra sono legati principalmente all'azionamento delle pompe di estrazione dell'acqua per gli usi idrici del vivaio e la presenza di un bacino di raccolta ha permesso il dimensionamento di una batteria tampone di carica per ottimizzare l'accumulo dell'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici per permettere una migliore copertura del fabbisogno in assenza di sorgente solare.

La scelta della modalità di installazione è stata altresì dettata dalla necessità di selezionare materiali e tecnologie già conosciute all'interno del vivaio per tutta la parte di supporto e ancoraggio dei pannelli alla struttura della serra. Date le rilevanti temperature riscontrate nella zona sottotetto, benché siano stata migliorata la ventilazione anche della zona sottotetto mediante la realizzazione di nuove aperture apribili sul fronte est ed ovest, è stato selezionato un telo in PVC (analogo al materiale utilizzato per la teloneria dei camion e furgoni) con adeguate caratteristiche meccaniche come supporto di installazione al pannello fotovoltaico, ad esso incollato, gestibile nel tensionamento come il telo della copertura mediante arridatoi cilindrici posti nella zona di gronda della serra. Ciascuna striscia di telo in PVC ha una lunghezza idonea (maggiore della larghezza del semicilindro di copertura della serra) a permettere il tensionamento fra gli arridatoi posizionati in adiacenza alle gronde della copertura della serra, ed una larghezza minima dettata dalla larghezza del singolo pannello fotovoltaico. I pannelli fotovoltaici flessibili, sono incollati ai teli in PVC ed avranno una collocazione principalmente sulla falda sud della copertura estesa fino alla zona della falda nord adiacente al colmo della copertura.

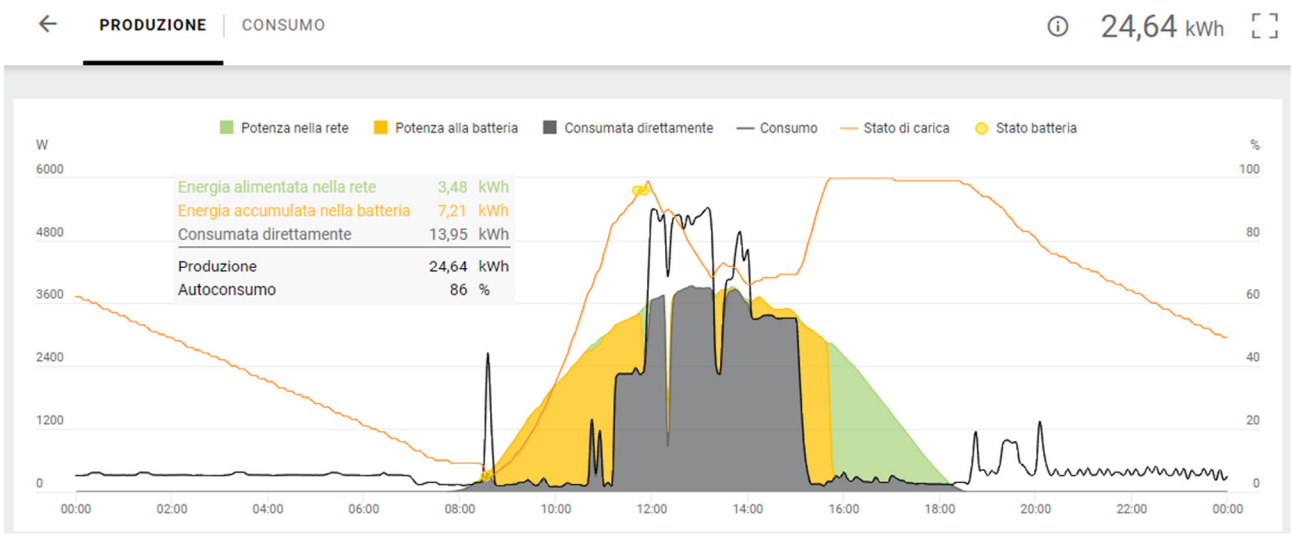
I pannelli sono stati installati in data 17 settembre 2018 e contestualmente è stato cablato l'impianto per il collegamento dell'inverter e della batteria tampone. Sono state effettuate le prove di funzionamento e per il completamento dell'impianto manca soltanto l'installazione del contatore di immissione in rete per l'energia elettrica prodotta in eccesso dall'impianto.

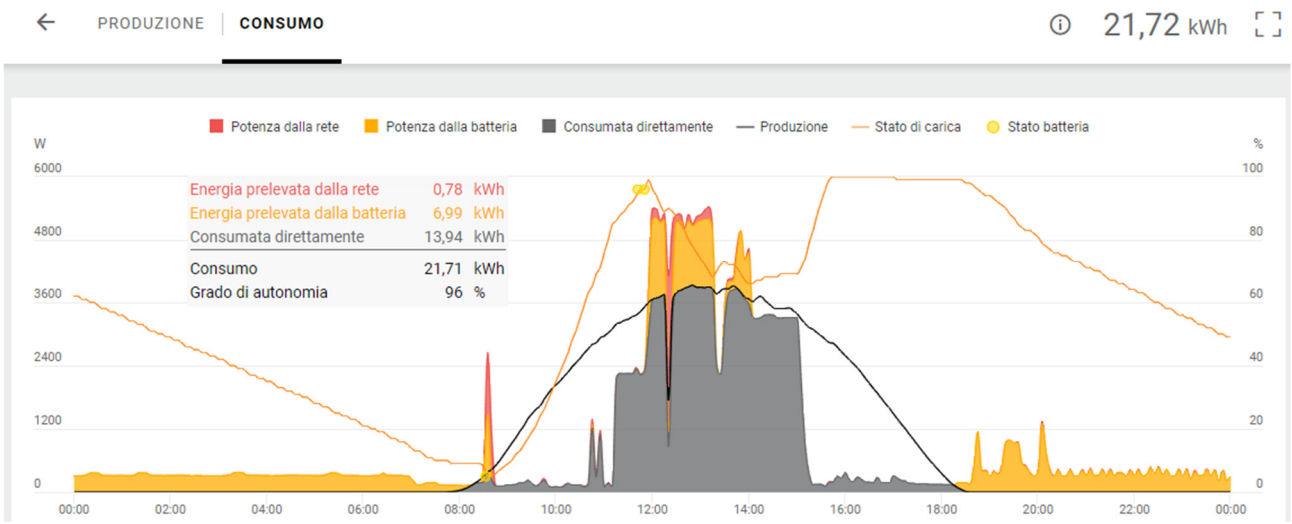
Di seguito alcune fotografie dell'impianto durante l'installazione.

Ed alcune foto dell'interno della serra dopo l'installazione dei pannelli.



Si riportano gli estratti dei dati di monitoraggio della produzione dell'impianto fotovoltaico durante le operazioni di collaudo svolte durante il mese di ottobre.





4 Resoconto amministrativo-finanziario

Le spese sostenute dal DIEF per le attività collegate alla presente linea di finanziamento sono riassunte nel prospetto.

3S ECO-NURSERY	BUDGET TOTALE	TOTALE SPESE	RESIDUO
Investimenti Immateriali	0.00	**0.00**	0.00
Personale dipendente	18 560.00	**21 944.02**	-3 384.02
Personale non dipendente	6 000.00	**6 000.00**	0.00
Missioni e trasferte	2 000.00	**324.46**	1 675.54
Beni di consumo e noleggi	1 040.00	**1 091.90**	-51.90
Prototipi di macchinari e attrezzature (in toto)	0.00	**0.00**	0.00
Macchinari e attrezzature, software/hardware (solo ammortamento)	2 400.00	**3 305.76**	-905.76
Spese generali (consulenze..)	0.00	**0.00**	0.00
TOTALE COSTI DIRETTI	**30 000.00**	**32 666.14**	**-2 666.14**

Il prof. Giuseppe Grazzini ha svolto la supervisione scientifica delle attività nonché il coordinamento attività stesse.

Il prof. Adriano Milazzo, insieme ad Ing. Andrea Rocchetti, hanno realizzato e predisposto la strumentazione alle misure ed effettuato le misure stesse.

Ing. Andrea Rocchetti ha coordinato i rapporti e le attività con l'azienda Vivaistica, ha coordinato ed elaborato le attività di simulazione numerica in collaborazione con gli studenti tesisti del corso di laurea in Ingegneria Civile Edile ed Ambientale e di Ingegneria Edile, ha coordinato le attività con il gruppo di progettisti e professionisti incaricati dall'Azienda Agricola.

L'assegnista di ricerca Federico Gamberucci, con la supervisione e collaborazione di Prof. Maurizio Orlando, ha elaborato l'analisi strutturale della serra attuale ed ha partecipato alla definizione delle soluzioni di supporto ed ancoraggio dell'impianto fotovoltaico alla copertura della serra.

Le spese di beni di consumo e noleggi sono relativi all'acquisto del contenitore criogenico per l'azoto necessario per le misure delle proprietà radiometriche dei campioni di film plastico EVA presso il laboratorio INO-CNR e per i materiali necessari alla realizzazione delle termocoppie di misura della temperatura.

Le spese per Macchinari e attrezzature, software/hardware (solo ammortamento) sono relative all'acquisto del sistema di acquisizione CDAQ di National Instruments con relativi moduli di acquisizione ed accessori.

5 BIBLIOGRAFIA

[1] Zappone Claudio, “La serra solare”, Sistemi Editoriali, Arti Grafiche Italo Cernia, 2009

[2] Favilli Ranieri, “Le colture protette – sistemi e mezzi di protezione”, ITALSIDER gruppo Finsider, 1972

[3] Alpi Amedeo, Tognoni Franco, “Coltivazione in serra” EDAGRICOLE, Officine Grafiche Calderini, Bologna, 1969

[4] Tesi Romano, “Colture protette”, Il Sole 24 Ore Edagricole, 2001

[5] Balocco C, Mercatelli L, Azzali N, Meucci M, Grazzini G, “Experimental transmittance of polyethylene films in the solar and infrared wavelengths”, Solar Energy 165 (2018) 199–205, https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.011

ALLEGATO A

MODELLO TRASVERSALE PIANO v.01

COLONNA M_{MAX} - Azioni - Combinazione b.1								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	7,73	kNm	7730000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					**1**			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o 2	
				$W_{pl,z}$=	14180	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o2	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,4025						
		λ_{LT}=	0,12741					
			M_{cr}=	286060555	Nmm			
				ψ=	2,44			
					M_A=	7,72	kNm	
					M_B=	-4,38	kNm	
				β=	0,5	incastro - bipendolo		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	0,99429						
		k_c=	0,88					
VERIFICA STBILITA ASTE INFLESSE §4.2.4.1.3.2 NTC08								
	7,73	**≤**	**4,42**	**NON VERIFICATO**				
		175%						

COLONNA N_{MAX} - Azioni - combinazione a.2.2								
N_{Ed}=	29,3	kN	29300	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	14180	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,57152**							
	Φ=	1,24374						
	λ_z=	1,13617						
		$N_{cr,z}$=	135442	N				
			β=	0,7	incastro - appoggio			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	29,30	**≤**	**95,17**	**VERIFICATO**				
		31%						

CORRENTE INFERIORE N_{MAX} - Azioni - combinazione a.2.1								
N_{Ed}=	21,59	kN	21590	N				
$M_{Ed,y}$=	0,08	kNm	84000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99401**							
	Φ=	0,52868						
	λ_z=	0,22723						
		$N_{cr,z}$=	641710	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97413**							
	Φ=	0,5614						
	λ_y=	0,31431						
		$N_{cr,y}$=	335397	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,38518						
		λ_{LT}=	0,08987					
			M_{cr}=	30523278	Nmm			
				ψ=	1,00			
					M_A=	0,08	kNm	
					M_B=	0,08	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	1,00099						
		k_c=	0,77					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi		deformabili torsionalmente						
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
	α_{mLT}=	1						
	k_{yy}=	**1,08029**						
	k_{yz}=	**0,5399**						
	k_{zy}=	**0,82723**						
	k_{zz}=	**0,89983**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	1,09	**≤**	**1**	**NON VERIFICATO**		**109%**		
	0,98	**≤**	1	**VERIFICATO**		**98%**		

CORRENTE INFERIORE M_{MAX} - Azioni - Combinazione b.1								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	0,62	kNm	616000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o 2	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o2	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,37901						
		λ_{LT}=	0,07591					
			M_{cr}=	42774948	Nmm			
				ψ=	1,40			
					M_A=	0,14	kNm	
					M_B=	0,05	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	1,00292						
		k_c=	0,88					
VERIFICA STBILITA ASTE INFLESSE §4.2.4.1.3.2 NTC08								
	0,62	≤	0,23	NON VERIFICATO				
		262%						

CORRENTE SUPERIORE N_{MAX} - Azioni - combinazione a.2.1								
N_{Ed}=	23,15	kN	23150	N				
$M_{Ed,y}$=	0,06	kNm	56000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					**1**			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99401**							
	Φ=	0,52868						
	λ_z=	0,22723						
		$N_{cr,z}$=	641710	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97413**							
	Φ=	0,5614						
	λ_y=	0,31431						
		$N_{cr,y}$=	335397	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,38518						
		λ_{LT}=	0,08987					
			M_{cr}=	30523278	Nmm			
				ψ=	1,00			
					M_A=	0,06	kNm	
					M_B=	0,06	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	1,00099						
		k_c=	0,77					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi		deformabili torsionalmente						
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
	α_{mLT}=	1						
	k_{yy}=	**1,08609**						
	k_{yz}=	**0,53556**						
	k_{zy}=	**0,82723**						
	k_{zz}=	**0,8926**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	1,01	**≤**	**1**	**NON VERIFICATO**		**101%**		
	0,94	**≤**	1	**VERIFICATO**		**94%**		

CORRENTE SUPERIORE M_{MAX} - Azioni - Combinazione b.1								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	0,14	kNm	140000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o 2	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o2	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,37901						
		λ_{LT}=	0,07591					
			M_{cr}=	42774948	Nmm			
				ψ=	1,40			
					M_A=	0,14	kNm	
					M_B=	0,05	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	1,00292						
		k_c=	0,88					
VERIFICA STBILITA ASTE INFLESSE §4.2.4.1.3.2 NTC08								
	0,14	≤	0,23	VERIFICATO				
		60%						

DIAGONALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	11,07	kN	11070	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare piena classe					1			
Φ=	10	mm		A=	78	mm^2		
				I_y=	484	mm^4		
				I_z=	484	mm^4		
				$W_{el,y}$=	97	mm^3		
				$W_{el,z}$=	97	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_z=	2,0101						
		$N_{cr,z}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
χ_y=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_y=	2,0101						
		$N_{cr,y}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	11,07	**≤**	**3,40**	**NON VERIFICATO**				
		326%						

TIRAMTE TESO - Azioni - combinazione a.2.2								
N_{Ed}=	13,07	kN	13070	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare tubolare					1			
Φ=	32	mm		A=	143	mm^2		
sp=	1,5	mm		I_y=	16753	mm^4		
				I_z=	16753	mm^4		
				$W_{el,y}$=	1047	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1047	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4030	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4030	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	4030	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
VERIFICA RESISTENZA ASTE TESE §4.2.4.1.2 NTC08								
	13,07	≤	32,00	VERIFICATO				
		41%						

MODELLO TRASVERSALE FACCIATA v.01

COLONNA FACCIATA M_{MAX} - Azioni - Combinazione b.1								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	16,31	kNm	1,6E+07	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o 2	
				$W_{pl,z}$=	14180	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o2	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4770	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4770	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	1700	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,45025						
		λ_{LT}=	0,22092					
			M_{cr}=	95143549	Nmm			
				ψ=	1,75			
					M_A=	16,31	kNm	
					M_B=	0,00	kNm	
				β=	0,7	incastro - appoggio		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,4					
		β=	0,75					
	f=	0,95883						
		k_c=	0,75					
VERIFICA STBILITA ASTE INFLESSE §4.2.4.1.3.2 NTC08								
	16,31	≤	4,42	NON VERIFICATO				
		369%						

ARCARECCIO DI FALDA - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	0,19	kN	190	N				
$M_{Ed,y}$=	2,06	kNm	2060000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					**1**			
h=	50	mm		A=	231	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	78898	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	35408	mm^4		
				$W_{el,y}$=	3156	mm^3		
				$W_{el,z}$=	2361	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	3839	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	2684	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	624818	mm^6		
				J_T=	75015	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3000	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3000	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3000	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,13804**							
	Φ=	4,08209						
	λ_z=	2,58149						
		$N_{cr,z}$=	8146	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,29042**							
	Φ=	2,15595						
	λ_y=	1,72937						
		$N_{cr,y}$=	18151	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**0,99706**							
	Φ_{LT}=	0,52929						
		λ_{LT}=	0,21581					
			M_{cr}=	19370973	Nmm			
				ψ=	2,76			
					M_A=	0,37	kNm	
					M_B=	-0,29	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,99048						
		k_c=	0,94					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi		deformabili torsionalmente						
	α_{my}=	0,95						
	α_{mz}=	0,4						
	α_{mLT}=	0,95						
	k_{yy}=	**0,95962**						
	k_{yz}=	**0,24895**						
	k_{zy}=	**0,9962**						
	k_{zz}=	**0,41491**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	2,32	**≤**	**1**	**NON VERIFICATO**		**232%**		
	2,42	**≤**	1	**NON VERIFICATO**		**242%**		

GRONDA CENTRALE Azioni - combinazione b.1									
N_{Ed}=	7,44	kN	7440	N					
$M_{Ed,y}$=	2,35	kNm	2350000	Nmm					
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm					
				Sezione classe	4				
				A_{eff}=	619	mm^2			
				I_y=	7466640	mm^4			
				I_z=	519335	mm^4			
				$W_{eff,y}$=	48135	mm^3			
				W_{effz}=	12027	mm^3			
				J_ω=	4,60E+09	mm^6			
				J_T=	1135,9	mm^4			
Geometria e materiale asta									
					FC=	1			
L_{totale}=	3000	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2		
$L_{inf,y}$=	3000	mm			E=	210000	N/mm^2		
$L_{inf,z}$=	3000	mm			γ_{M1}=	1,05			
					G=	80769	N/mm^2		
Calcolo di χ									
χ_z=	**0,86057**								
	Φ=	0,71198							
	λ_z=	0,55171							
		$N_{cr,z}$=	477907	N					
			β=	0,5	incastro - incastro				
		α=	0,34						
χ_y=	**0,9674**								
	Φ=	0,55781							
	λ_y=	0,291							
		$N_{cr,y}$=	1717755	N					
			β=	1	appoggio - appaggio				
		α=	0,34						

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**0,75675**							
	Φ_{LT}=	0,81429						
		λ_{LT}=	0,58176					
			M_{cr}=	33422356	Nmm			
				ψ=	2,85			
					M_A=	-2,13	kNm	
					M_B=	1,80	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,95476						
		k_c=	0,9					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	0,95						
	α_{mz}=	0,4						
	α_{mLT}=	0,95						
	k_{yy}=	**0,9548**						
	k_{yz}=	**0,24754**						
	k_{zy}=	**0,99508**						
	k_{zz}=	**0,41257**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,33	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**33%**		
	0,35	**≤**	1	**VERIFICATO**		**35%**		

GRONDA LATERALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	3,6	kN	3600	N				
$M_{Ed,y}$=	2,35	kNm	2350000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
				Sezione classe	4			
				A_{eff}=	400	mm^2		
				I_y=	4037262	mm^4		
				I_z=	351781	mm^4		
				$W_{eff,y}$=	31672	mm^3		
				W_{effz}=	11908	mm^3		
				J_ω=	3,49E+09	mm^6		
				J_T=	1025,9	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3000	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3000	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3000	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,86659**							
	Φ=	0,70279						
	λ_z=	0,53886						
		$N_{cr,z}$=	323719	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,34					
χ_y=	**0,95742**							
	Φ=	0,57068						
	λ_y=	0,31813						
		$N_{cr,y}$=	928802	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,34					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**0,74**							
	Φ_{LT}=	0,83813						
		λ_{LT}=	0,60623					
			M_{cr}=	20251867	Nmm			
				ψ=	2,39			
					M_A=	-1,92	kNm	
					M_B=	1,02	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,95375						
		k_c=	0,9					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi		deformabili torsionalmente						
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
	α_{mLT}=	1						
	k_{yy}=	**1,00496**						
	k_{yz}=	**0,6133**						
	k_{zy}=	**0,99667**						
	k_{zz}=	**1,02217**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,49	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**49%**		
	0,49	**≤**	1	**VERIFICATO**		**49%**		

COLONNA N_{MAX} - Azioni - combinazione c.1.2								
N_{Ed}=	33,73	kN	33730	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	14180	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,57152**							
	Φ=	1,24374						
	λ_z=	1,13617						
		$N_{cr,z}$=	135442	N				
			β=	0,7	incastro - appoggio			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	33,73	**≤**	**95,17**	**VERIFICATO**				
		35%						

COLONNA $M_{MAX}Y$ - Azioni - combinazione c.1.1								
N_{Ed}=	16,74	kN	16740	N				
$M_{Ed,y}$=	2,75	kNm	2750000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0,08	kNm	80000	Nmm				
				Sezione classe	**1**			
h=	80	mm		A_{eff}=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{eff,y}$=	16188	mm^3		
				W_{effz}=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760			
				$W_{pl,z}$=	14180			
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,78904**							
	Φ=	0,89352						
	λ_z=	0,81155						
		$N_{cr,z}$=	265467	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,58274**							
	Φ=	1,22317						
	λ_y=	1,11949						
		$N_{cr,y}$=	139509	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,49983						
		λ_{LT}=	0,16411					
			M_{cr}=	141244599	Nmm			
				ψ=	2,41			
					M_A=	2,75	kNm	
					M_B=	-1,50	kNm	
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,99044						
		k_c=	0,9					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi		deformabili torsionalmente						
	α_{my}=	0,4						
	α_{mz}=	0,4						
	α_{mLT}=	0,4						
	k_{yy}=	**0,4552**						
	k_{yz}=	**0,27128**						
	k_{zy}=	**0,93107**						
	k_{zz}=	**0,45214**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,53	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**53%**		
	0,85	**≤**	1	**VERIFICATO**		**85%**		

COLONNA M_{MAX} Z - Azioni - Combinazione b.1								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	2,23	kNm	2230000	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19760	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o 2	
				$W_{pl,z}$=	14180	mm^3	solo per sezioni Cl.1 o2	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,4838						
		λ_{LT}=	0,13381					
			M_{cr}=	259341771	Nmm			
				ψ=	3,10			
					M_A=	2,23	kNm	
					M_B=	-2,23	kNm	
				β=	0,7	incastro - appoggio		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,99326						
		k_c=	0,88					
VERIFICA STBILITA ASTE INFLESSE §4.2.4.1.3.2 NTC08								
	2,23	≤	4,42	VERIFICATO				
		50%						

CONTROVENTO ORIZZONTALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	1,9	kN	1900	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
		Sezione-circolare tubolare			1			
Φ=	32	mm		A=	143	mm^2		
sp=	1,5	mm		I_y=	16753	mm^4		
				I_z=	16753	mm^4		
				$W_{el,y}$=	1047	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1047	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4030	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4030	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	4030	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
VERIFICA RESISTENZA ASTE TESE §4.2.4.1.2 NTC08								
	1,90	≤	32,00	VERIFICATO				
		6%						

CONTROVENTO VERTICALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	0,3	kN	300	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
		Sezione-circolare tubolare			**1**			
Φ=	32	mm		A=	143	mm^2		
sp=	1,5	mm		I_y=	16753	mm^4		
				I_z=	16753	mm^4		
				$W_{el,y}$=	1047	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1047	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4030	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4030	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	4030	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
VERIFICA RESISTENZA ASTE TESE §4.2.4.1.2 NTC08								
	0,30	**≤**	**32,00**	**VERIFICATO**				
		1%						

TIRANTE - Azioni - combinazione c.1.1								
N_{Ed}=	16,1	kN	16100	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
		Sezione-circolare tubolare			1			
Φ=	32	mm		A=	143	mm^2		
sp=	1,5	mm		I_y=	16753	mm^4		
				I_z=	16753	mm^4		
				$W_{el,y}$=	1047	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1047	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4030	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4030	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	4030	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
VERIFICA RESISTENZA ASTE TESE §4.2.4.1.2 NTC08								
	16,10	≤	32,00	VERIFICATO				
		50%						

MODELLO TRASVERSALE PIANO v.02

COLONNA M_{MAX} - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	3,69	kN	3690	N				
$M_{Ed,y}$=	4,17	kNm	4170000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19764	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	14184	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,78904**							
	Φ=	0,89352						
	λ_z=	0,81155						
		$N_{cr,z}$=	265467	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,48505						
		λ_{LT}=	0,13624					
			M_{cr}=	250223997	Nmm			
				ψ=	2,14			
					M_A=	4,17	kNm	
					M_B=	-1,40	kNm	
				β=	0,5	incastro - bipendolo		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,98217						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	1,03	≤	1,04
	k_{yy}=	**1,00881**						
	k_{yz}=	**0,61724**						
	k_{zy}=	**0,99696**						
	k_{zz}=	**1,02873**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,98	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**98%**		
	0,97	**≤**	1	**VERIFICATO**		**97%**		

CORRENTE N_{MAX} - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	10,61	kN	10610	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare tubolare					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	465	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	465	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	465	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99454**							
	Φ=	0,52788						
	λ_z=	0,22482						
		$N_{cr,z}$=	655584	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97492**							
	Φ=	0,56						
	λ_y=	0,31097						
		$N_{cr,y}$=	342649	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	10,61	≤	30,77	VERIFICATO				
		34%						

CORRENTE M_{MAX} - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	1,61	kN	1610	N				
$M_{Ed,y}$=	0,04	kNm	42000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	465	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	465	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	465	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99454**							
	Φ=	0,52788						
	λ_z=	0,22482						
		$N_{cr,z}$=	655584	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97492**							
	Φ=	0,56						
	λ_y=	0,31097						
		$N_{cr,y}$=	342649	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,44911						
		λ_{LT}=	0,06116					
			M_{cr}=	65909723	Nmm			
				ψ=	2,14			
					M_A=	4,17	kNm	
					M_B=	-1,40	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	1,01377						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	0,99	≤	1,07
	k_{yy}=	**1,00581**						
	k_{yz}=	**0,59537**						
	k_{zy}=	**0,82482**						
	k_{zz}=	**0,99229**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,23	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**23%**		
	0,20	**≤**	1	**VERIFICATO**		**20%**		

DIAGONALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	2,47	kN	2470	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare piena classe					1			
Φ=	10	mm		A=	78	mm^2		
				I_y=	484	mm^4		
				I_z=	484	mm^4		
				$W_{el,y}$=	97	mm^3		
				$W_{el,z}$=	97	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_z=	2,0101						
		$N_{cr,z}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
χ_y=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_y=	2,0101						
		$N_{cr,y}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	2,47	**≤**	**3,40**	**VERIFICATO**				
		73%						

COLONNA M_{MAX} - Azioni - combinazione a.1.1								
N_{Ed}=	9,37	kN	9370	N				
$M_{Ed,y}$=	4,46	kNm	4460000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19764	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	14184	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,78904**							
	Φ=	0,89352						
	λ_z=	0,81155						
		$N_{cr,z}$=	265467	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,47761						
		λ_{LT}=	0,12161					
			M_{cr}=	314032655	Nmm			
				ψ=	2,68			
					M_A=	4,46	kNm	
					M_B=	-3,27	kNm	
				β=	0,5	incastro - bipendolo		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,98806						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	1,07	≤	1,10
	k_{yy}=	**1,02238**						
	k_{yz}=	**0,64378**						
	k_{zy}=	**0,99228**						
	k_{zz}=	**1,07296**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	1,09	**≤**	**1**	**NON VERIFICATO**		**109%**		
	1,07	**≤**	1	**NON VERIFICATO**		**107%**		

COLONNA N_{MAX} - Azioni - combinazione a.2.1								
N_{Ed}=	29,6	kN	29600	N				
$M_{Ed,y}$=	1,64	kNm	1640000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					**1**			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	19764	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	14184	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,78904**							
	Φ=	0,89352						
	λ_z=	0,81155						
		$N_{cr,z}$=	265467	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,47495						
		λ_{LT}=	0,11629					
			M_{cr}=	343440678	Nmm			
				ψ=	2,93			
					M_A=	1,64	kNm	
					M_B=	-1,47	kNm	
				β=	0,5	incastro - bipendolo		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,99024						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	1,23	≤	1,32
	k_{yy}=	**1,07069**						
	k_{yz}=	**0,7383**						
	k_{zy}=	**0,97562**						
	k_{zz}=	**1,23049**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,59	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**59%**		
	0,59	**≤**	1	**VERIFICATO**		**59%**		

CORRENTE N_{MAX} - Azioni - combinazione a.2.2								
N_{Ed}=	23,39	kN	23390	N				
$M_{Ed,y}$=	0,03	kNm	30000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	465	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	465	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	465	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99454**							
	Φ=	0,52788						
	λ_z=	0,22482						
		$N_{cr,z}$=	655584	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97492**							
	Φ=	0,56						
	λ_y=	0,31097						
		$N_{cr,y}$=	342649	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,44911						
		λ_{LT}=	0,06116					
			M_{cr}=	65909723	Nmm			
				ψ=	2,14			
					M_A=	4,17	kNm	
					M_B=	-1,40	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	1,01377						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	0,89	≤	2,04
	k_{yy}=	**1,08437**						
	k_{yz}=	**0,53276**						
	k_{zy}=	**0,82482**						
	k_{zz}=	**0,88794**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,90	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**90%**		
	0,85	**≤**	1	**VERIFICATO**		**85%**		

CORRENTE M_{MAX} - Azioni - combinazione c.1.1								
N_{Ed}=	8,02	kN	8020	N				
$M_{Ed,y}$=	0,61	kNm	610000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1049	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1401	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	465	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	465	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	465	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99454**							
	Φ=	0,52788						
	λ_z=	0,22482						
		$N_{cr,z}$=	655584	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97492**							
	Φ=	0,56						
	λ_y=	0,31097						
		$N_{cr,y}$=	342649	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,45678						
		λ_{LT}=	0,07821					
			M_{cr}=	40297634	Nmm			
				ψ=	1,31			
					M_A=	0,61	kNm	
					M_B=	0,30	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	1,00482						
		k_c=	0,77					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	0,96	≤	1,36
	k_{yy}=	**1,02893**						
	k_{yz}=	**0,57695**						
	k_{zy}=	**0,82482**						
	k_{zz}=	**0,96158**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	2,93	**≤**	**1**	**NON VERIFICATO**		**293%**		
	2,40	**≤**	1	**NON VERIFICATO**		**240%**		

DIAGONALE - Azioni - combinazione b.1								
N_{Ed}=	9,92	kN	9920	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare piena classe					1			
Φ=	10	mm		A=	78	mm^2		
				I_y=	484	mm^4		
				I_z=	484	mm^4		
				$W_{el,y}$=	97	mm^3		
				$W_{el,z}$=	97	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	165	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_z=	2,0101						
		$N_{cr,z}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
χ_y=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_y=	2,0101						
		$N_{cr,y}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	9,92	**≤**	**3,40**	**NON VERIFICATO**				
		292%						

TIRANTE - Azioni - combinazione a.2.2								
N_{Ed}=	13,06	kN	13060	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
		Sezione-circolare tubolare			1			
Φ=	32	mm		A=	143	mm^2		
sp=	1,5	mm		I_y=	16753	mm^4		
				I_z=	16753	mm^4		
				$W_{el,y}$=	1047	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1047	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1396	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	4030	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	4030	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	4030	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
VERIFICA RESISTENZA ASTE TESE §4.2.4.1.2 NTC08								
	13,06	≤	32,00	VERIFICATO				
		41%						

MODELLO CON CAVI

COLONNA M_{MAX} - Azioni - combinazione cavi 15°								
N_{Ed}=	0	kN	0	N				
$M_{Ed,y}$=	2,10	kNm	2100000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	80	mm		A=	744	mm^2		
b=	50	mm		I_y=	647512	mm^4		
sp=	3	mm		I_z=	308032	mm^4		
				$W_{el,y}$=	16188	mm^3		
				$W_{el,z}$=	12321	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	16188	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	12321	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	11987420	mm^6		
				J_T=	639700	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	3100	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	3100	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	3100	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,78904**							
	Φ=	0,89352						
	λ_z=	0,81155						
		$N_{cr,z}$=	265467	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,90463**							
	Φ=	0,69443						
	λ_y=	0,55974						
		$N_{cr,y}$=	558037	N				
			β=	0,5	incastro - bipendolo			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	1							
	Φ_{LT}=	0,46749						
		λ_{LT}=	0,10101					
			M_{cr}=	372847148	Nmm			
				ψ=	3,18			
					M_A=	2,00	kNm	
					M_B=	-2,10	kNm	
				β=	0,5	incastro - bipendolo		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	0,99658						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	1,00	≤	1,00
	k_{yy}=	**1**						
	k_{yz}=	**0,6**						
	k_{zy}=	**1**						
	k_{zz}=	**1**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,58	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**58%**		
	0,58	**≤**	1	**VERIFICATO**		**58%**		

CORRENTE N_{MAX} - Azioni - combinazione cavi 15°								
N_{Ed}=	16,9	kN	16900	N				
$M_{Ed,y}$=	0,01	kNm	10000	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-tubolare classe					1			
h=	20	mm		A=	141	mm^2		
b=	30	mm		I_y=	8946	mm^4		
sp=	1,5	mm		I_z=	17116	mm^4		
				$W_{el,y}$=	895	mm^3		
				$W_{el,z}$=	1141	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	895	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	1141	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				J_ω=	37398	mm^6		
				J_T=	17958	mm^4		
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	465	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	465	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	465	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,99454**							
	Φ=	0,52788						
	λ_z=	0,22482						
		$N_{cr,z}$=	655584	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					
χ_y=	**0,97492**							
	Φ=	0,56						
	λ_y=	0,31097						
		$N_{cr,y}$=	342649	N				
			β=	0,5	incastro - incastro			
		α=	0,21					

Calcolo di χ_{LT}								
χ_{LT}=	**1**							
	Φ_{LT}=	0,44292						
		λ_{LT}=	0,04689					
			M_{cr}=	95640602	Nmm			
				ψ=	3,10			
					M_A=	0,01	kNm	
					M_B=	-0,01	kNm	
				β=	0,5	incastro - incastro		
		α_{LT}=	0,76					
		$\lambda_{LT,0}$=	0,2					
		β=	1					
	f=	1,02015						
		k_c=	0,7					
Calcolo di k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}								
Tipo di elementi			deformabili torsionalmente					
	α_{my}=	1						
	α_{mz}=	1						
					k_{zz}=	0,92	≤	1,75
	k_{yy}=	**1,06096**						
	k_{yz}=	**0,55142**						
	k_{zy}=	**0,82482**						
	k_{zz}=	**0,91903**						
VERIFICA STBILITA ASTE PRESSO INFLESSE §C4.2.4.1.3.3.2 NTC08								
	0,60	**≤**	**1**	**VERIFICATO**		**60%**		
	0,58	**≤**	1	**VERIFICATO**		**58%**		

DIAGONALE - Azioni - combinazione cavi 15°								
N_{Ed}=	3,35	kN	3350	N				
$M_{Ed,y}$=	0,00	kNm	0	Nmm				
$M_{Ed,z}$=	0	kNm	0	Nmm				
Sezione-circolare piena classe					1			
Φ=	10	mm		A=	78	mm^2		
				I_y=	484	mm^4		
				I_z=	484	mm^4		
				$W_{el,y}$=	97	mm^3		
				$W_{el,z}$=	97	mm^3		
				$W_{pl,y}$=	97	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
				$W_{pl,z}$=	97	mm^3	olo per sezioni Cl.1 o	
Geometria e materiale asta								
					FC=	1		
L_{totale}=	470	mm			f_{yk}=	235	N/mm^2	
$L_{inf,y}$=	470	mm			E=	210000	N/mm^2	
$L_{inf,z}$=	470	mm			γ_{M1}=	1,05		
					G=	80769	N/mm^2	
Calcolo di χ								
χ_z=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_z=	2,0101						
		$N_{cr,z}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
χ_y=	**0,19449**							
	Φ=	2,96372						
	λ_y=	2,0101						
		$N_{cr,y}$=	4537	N				
			β=	1	appoggio - appaggio			
		α=	0,49					
VERIFICA STBILITA ASTE COMPRESSE §4.2.4.1.3.1 NTC08								
	3,35	**≤**	**3,40**	**VERIFICATO**				
		99%						