

# COMUNE DI FORMIGINE - UFFICIO LAVORI PUBBLICI

## PROGETTAZIONE ESECUTIVA PER LA DOTAZIONE IMPIANTISTICA ELETTRICA, DI ILLUMINAZIONE, FORZA MOTRICE, MECCANICA ED IDROSANITARIA DEL "CENTRO DEL RIUSO" PRESSO CAPANNONE MZ



### COMMITTENTE:

COMUNE DI FORMIGINE  
Via Unità d'Italia, 26 - Formigine (MO)

Settore:  
Lavori Pubblici e Patrimonio



### PROGETTAZIONE:

**YUPPIES SERVICES**

Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l  
via Pesca n.315 Modena  
tel. 059/282727 fax 059/9781115

Responsabile Unico del procedimento: ING. LAURA REGGIANI

Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione: P.I. MARCO SEBASTIANO SAPONE

Coordinatore della sicurezza in fase esecutiva: P.I. MARCO SEBASTIANO SAPONE

Direttore Tecnico: ING. ALESSANDRO SOLA

Progettista impianti meccanici: ING. SIMONE CALEFFI

Progettista impianti elettrici: P.I. ALESSANDRO ZACCHINI

Progettista strutturale: ING. GIANLUCA GRAZI

Collaboratori: ING. IRENE VENTURI

Energy Manager: ING. SIMONE CALEFFI  
E.G.E. Certificato UNI CEI 11339

Responsabile Unico Procedimento

Coordinatore della sicurezza

Direttore Tecnico

Argomento:	Centro del riuso - Via Radici in Piano, 327 - Formigine (MO)				
Titolo:	PROGETTO ESECUTIVO IMPIANTISTICO DEL "CENTRO DEL RIUSO"				
Tipo di elaborato:	RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO				
Codice commessa	Livello	Argomento	Titolo	N. Elaborato	Revisione
<b>073_002_17</b>		ST		RT-03	
nome file					scala: 1:100
revisione 03					
revisione 02					
revisione 01					
emissione	13/02/2018	-		E.F.	G.G. A.S.
	data	descrizione		redatto	verificato approvato

---

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

---

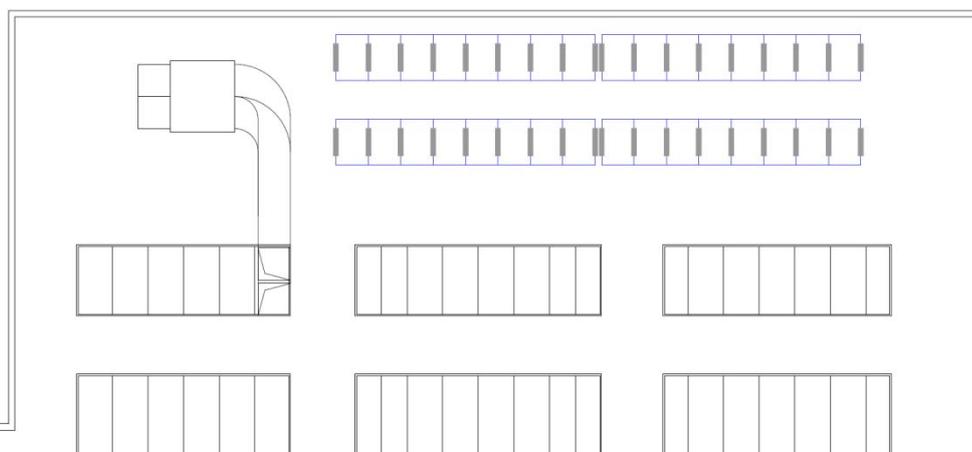
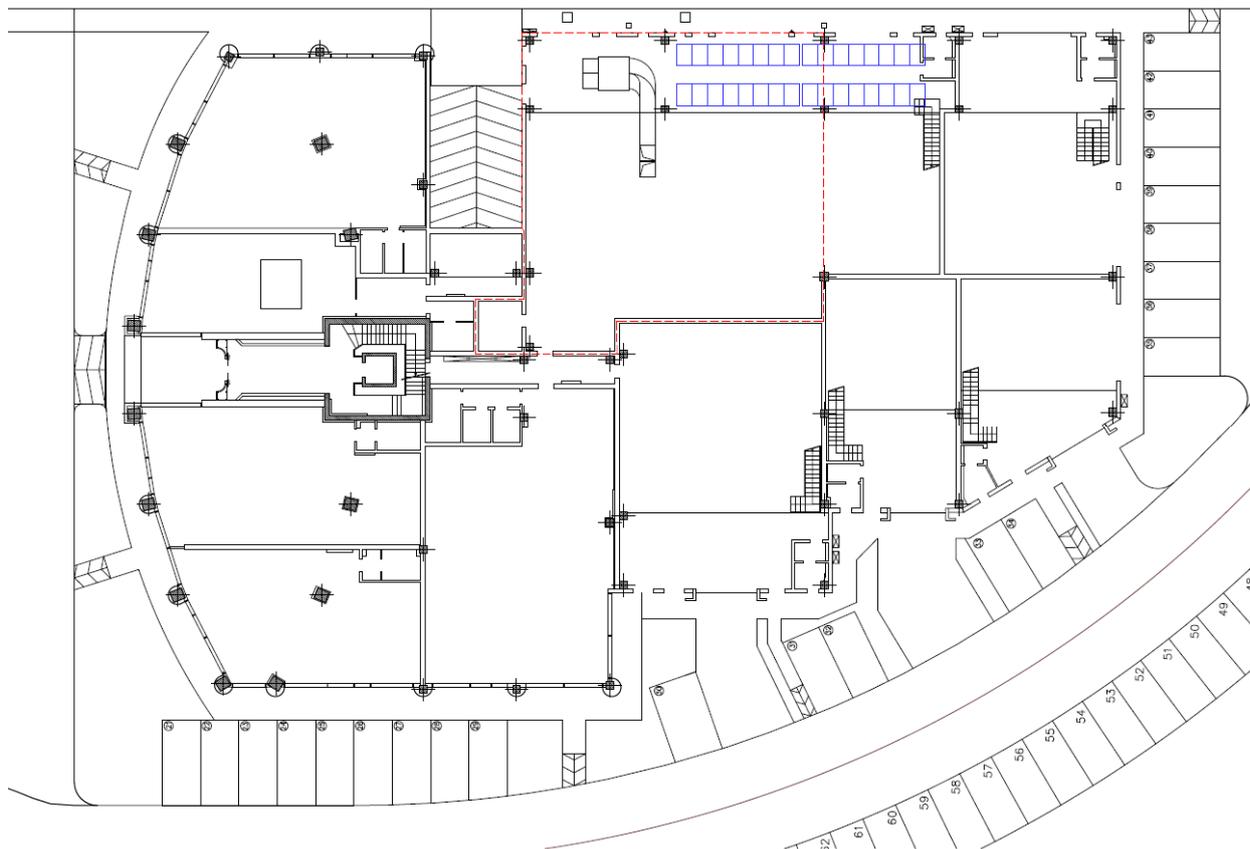
**INDICE**

1.GENERALITA' .....	2
2.ASSEMBLAGGIO DELL'IMPIANTO .....	4
3. IDENTIFICAZIONE TIPOLOGIA INTERVENTO.....	5
4. VERIFICA STATICA .....	8
5.VERIFICA DELLA PORTANZA DEL SOLAIO .....	12
5.1. TEGOLO DI COPERTURA TT35C LUNGHEZZA 8,63 M .....	12
5.2 TEGOLO DI COPERTURA TT35C LUNGHEZZA 10,33 M.....	14

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

**1.GENERALITA'**

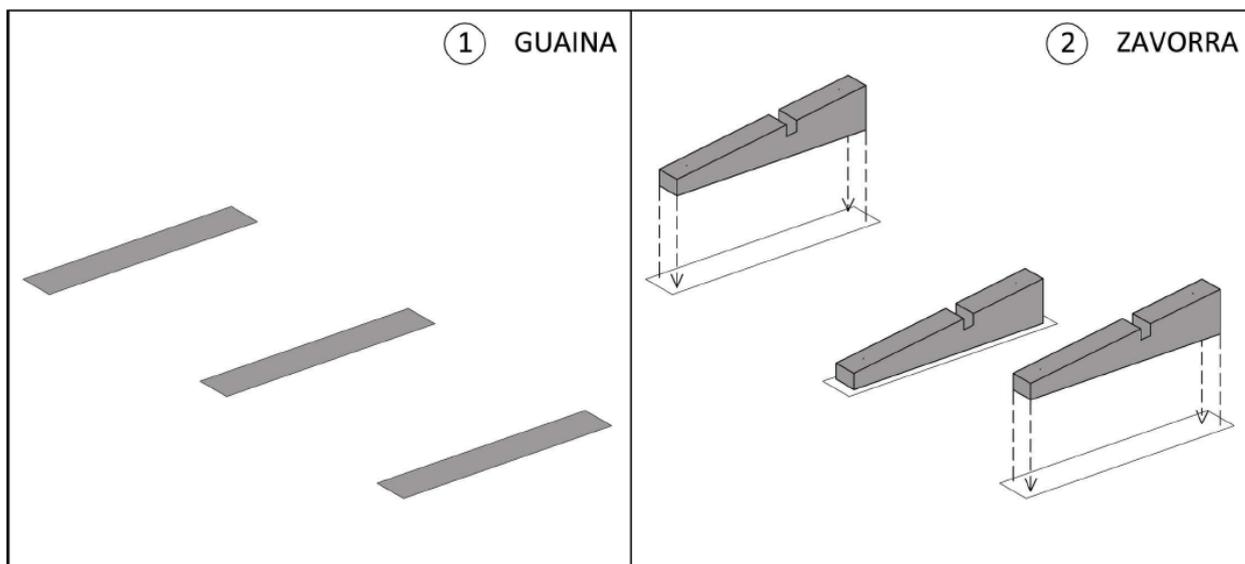
Si descrive successivamente il sistema utilizzato per il nuovo impianto fotovoltaico composto da 32 moduli tipo SHARP ND-R250A5 con potenza di picco 250 Wp per modulo da installare sulla copertura del Centro del Riuso di Formigine. Si riporta di seguito l'ubicazione planimetrica dell'installazione:



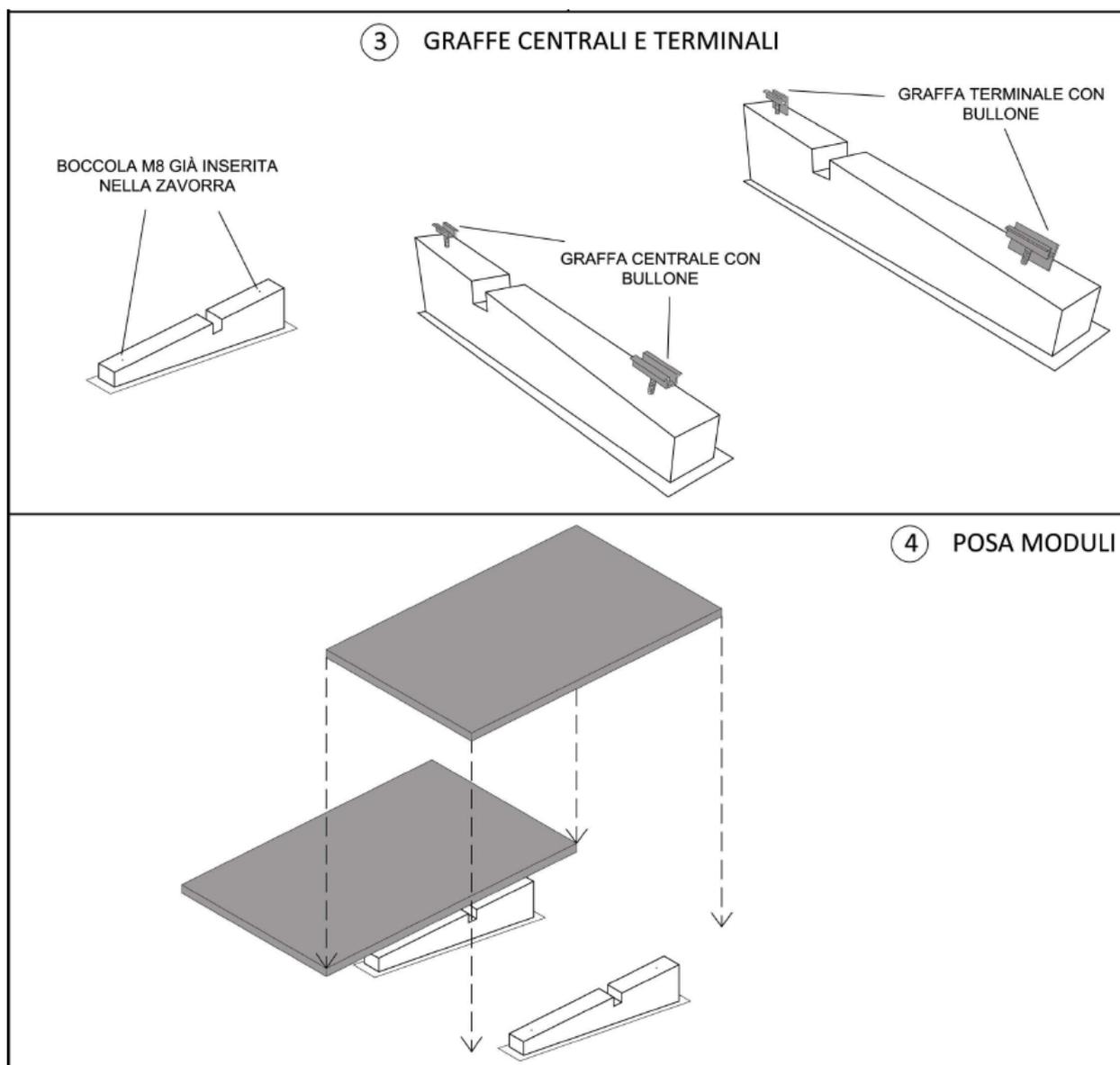
**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

I pannelli fotovoltaici verranno installati utilizzando un sistema di sostegno modulabile tipo SUN BALLAST scelto con inclinazione di 30°, direzionati verso Sud. Il sistema di ancoraggio dei pannelli è modulabile anche in termini di peso, grazie alla possibilità di inserire zavorre supplementari e barre di rinforzo, in modo da inserire i pesi solo nelle zone più opportune senza caricare inutilmente aree della copertura e soddisfare la verifica di tenuta alle azioni del vento.



**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**



## 2.ASSEMBLAGGIO DELL'IMPIANTO

La struttura di sostegno dei generatori fotovoltaici è costituita da un sistema modulare di zavorre in calcestruzzo prefabbricato adatto a solai piani di ogni tipo, che permette una bassa usura nel tempo e una buona resistenza alle perturbazioni e alle condizioni climatiche. I materiali di tutte le strutture di ancoraggio e sostegno assicurano infatti idonea resistenza a corrosione, caratteristica dell'ambiente in cui verranno collocate. I profili sono in grado di sostenere ed ancorare alla struttura edile l'insieme dei moduli fotovoltaici, inclinati di 30° e rivolti verso Sud, secondo l'esposizione più consona nei confronti della radiazione solare.

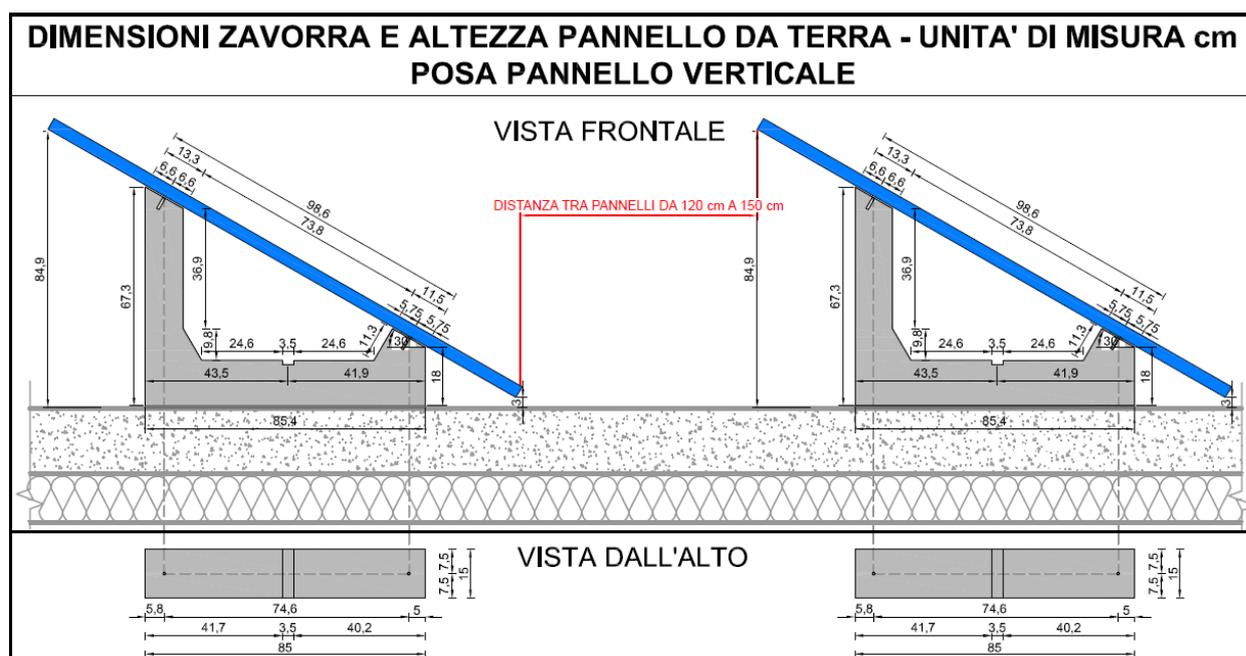
I sostegni in calcestruzzo prefabbricato sono costituiti da stampelle a U, ognuna interposta alla

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

congiunzione tra due moduli, con i punti predisposti per il fissaggio dei pannelli inclinati di 30°; tali elementi a stampella verranno opportunamente ancorati al piano di posa, che in questo caso è costituito dalla copertura piana a terrazza. Nonostante quest'ultima sia praticabile, particolare attenzione dovrà essere posta nella modalità di fissaggio a terra dei sostegni e dell'eventuale zavorra aggiuntiva, al fine di non rovinare la guaina e comprometterne l'integrità.

La disposizione dei 32 moduli è organizzata in due file, collocate ad una distanza opportuna di almeno 120 cm secondo le indicazioni del fornitore dei sostegni, in modo che non si verifichino ombreggiamenti reciproci tali da determinare una significativa decurtazione della produttività. Infatti nelle prime ore del mattino e nelle tarde ore del pomeriggio, data l'estrema lunghezza delle ombre, è inevitabile che le file dei pannelli si ombreggino a vicenda, con una conseguente mancata produzione di energia. Tuttavia l'effetto è trascurabile dato il basso livello di energia trasmessa dalla luce solare durante questi periodi della giornata.

Per i pannelli fotovoltaici considerati, con azimut 0° e angolo di tilt 30°, la distanza netta tra le file è in grado di garantire che la quota di energia perduta per ombreggiamenti (nelle primissime ore del mattino e serali) risulti del tutto trascurabile.



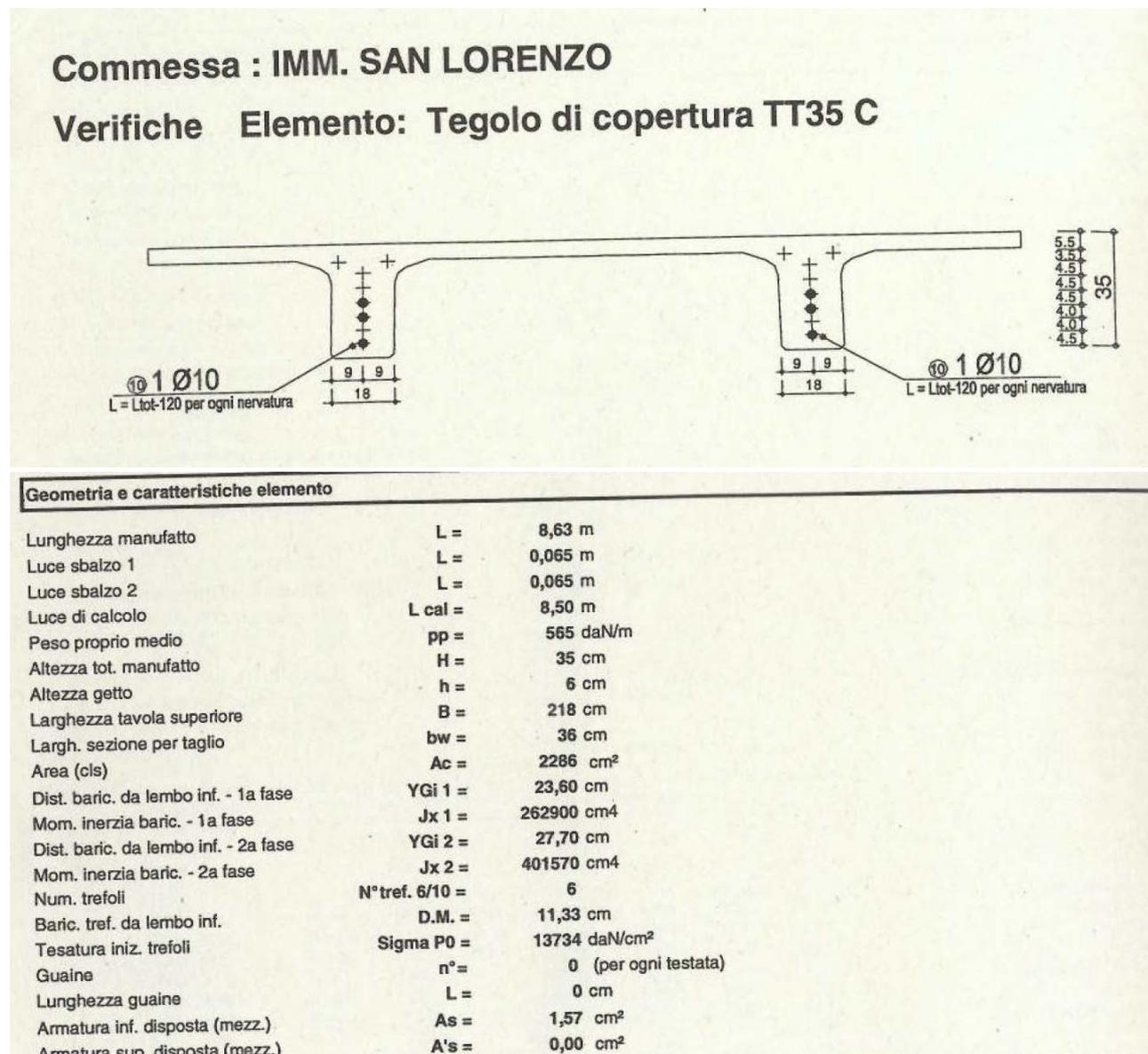
### 3. IDENTIFICAZIONE TIPOLOGIA INTERVENTO

Ai sensi del DGR 2272/2016, che elenca gli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici, l'intervento oggetto della presente relazione rientra nel paragrafo B.8.1, assimilabile al punto B.3.3, paragrafo d). L'intervento in esame infatti tratta l'inserimento di un elemento non strutturale in copertura, il quale non comporta un incremento di peso complessivo superiore al 5% dello stato attuale e per il quale non sono necessarie opere di rinforzo strutturale.

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Si riporta di seguito un estratto della relazione di calcolo originale, relativo alla verifica dei tegoli di copertura dove devono essere installati i pannelli fotovoltaici.

A favore di sicurezza, si fa riferimento alla tipologia di tegolo con il carico variabile di progetto inferiore.



**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Azioni caratteristiche			
Peso proprio	pp =	565 daN/m	
Sovraccarico permanente 1a fase	p1 =	330 daN/m	
Sovraccarico permanente 2a fase	p2 =	655 daN/m	
Sovraccarico permanente totale	p = p1 + p2 =	980 daN/m	
Sovraccarico variabile	a =	435 daN/m	
Azioni di progetto			
Combinazione quasi permanente	q(qp) =	1675 daN/m	pp+p1+p2+0,3a
Combinazione frequente	q(fr) =	1760 daN/m	pp+p1+p2+0,5a
Combinazione rara	q(ra) =	1980 daN/m	pp+p1+p2+a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	2790 daN/m	1,3(pp+p1)+1,5p2+1,5a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	1845 daN/m	1,0(pp+p)+0,7a
Caratteristiche materiali			
Coeff. sicurezza cls	Gamma c =	1,40	
Coeff. sicurezza acciaio lento	Gamma s =	1,15	
Coeff. sicurezza trefoli	Gamma p =	1,15	
Cls fasi transitorie	Rckj =	400 daN/cm <sup>2</sup>	fckj = 332 daN/cm <sup>2</sup> fcdj = 237 daN/cm <sup>2</sup>
			fctmj = -31,2 daN/cm <sup>2</sup> fcfmj = -37,4 daN/cm <sup>2</sup>
Cls fasi definitive	Rck =	550 daN/cm <sup>2</sup>	fck = 457 daN/cm <sup>2</sup> fcd = 326 daN/cm <sup>2</sup>
			fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup> fcfm = -46,3 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - barre ad. migl.	ftk =	5400 daN/cm <sup>2</sup>	fyk = 4500 daN/cm <sup>2</sup> fsd = 3913 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - reti elettros.	ftk =	4630 daN/cm <sup>2</sup>	fs0,2k = 4250 daN/cm <sup>2</sup> fsd = 3696 daN/cm <sup>2</sup>
Trefoli 1/2"	fpk =	18600 daN/cm <sup>2</sup>	fp0,2k = 16700 daN/cm <sup>2</sup> fpd = 10500 daN/cm <sup>2</sup>

Si sottolinea che il sovraccarico variabile considerato in fase di progettazione della copertura, evidenziato in rosso, è molto maggiore rispetto al carico da neve previsto da normativa. Questo fa pensare che, essendo la copertura non praticabile, il progettista avesse già tenuto conto di un possibile sovraccarico dovuto ad impianti.

Di seguito si riporta la somma dei carichi totali agenti previsti da progetto originale (in giallo), confrontati con la somma totale dei carichi effettivi, tenendo presente anche il peso dei pannelli fotovoltaici con zavorra.

A favore di sicurezza si considera si considera per il Rooftop, che da scheda tecnica pesa 610 kg, un carico distribuito su tutto il tegolo di 1.525 kN/m (1525 kg/m). Tale carico è stato ricavato dividendo il peso dell'UTA per l'area di appoggio determinata dalla struttura di ripartizione (4x2.2 = 8.8 m<sup>2</sup>) e moltiplicando successivamente per la larghezza B del tegolo (2.4 m). Tale calcolo è a favore di sicurezza poichè, nella realtà, il carico non è applicato a tutto il tegolo, ma solo su una parte di esso.

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Dati Tegolo A26 (TT35C)									
L (m)	8,50								
B (m)	2,40								
G1(kN/m)	5,65	Q slu	27,99	kN/m					
P1 (kN/m)	3,30								
P2 (kN/m)	6,55								
Q neve (kN/m)	2,88								
Q extra (kN/m)	1,47								
G2 FV ripartito (kN/m)	0,77	Q sluta	26,94	kN/m			Variazione di carico rispetto al progetto originale		
							-3,75%		
G HEA 140 (kN/m)	0,00								
Med esist (kNm)	252,74								
Med con FV (kNm)	243,26								
Mrd	371,10								
Verifica	0,66								

Si fa osservare che il peso dei pannelli fotovoltaici è inferiore al carico variabile aggiuntivo previsto dal progettista originario, si può dunque concludere che la variazione di peso totale è inferiore al 5%, come richiesto dal punto B.3.3 d) del DGR 2272/2016.

#### 4. VERIFICA STATICA

Le zavorre saranno in c.a. prefabbricato e poggiate sulla copertura interponendo uno strato di materiale resiliente (gomma, neoprene, etc.) per distribuirne l'appoggio sull'impermeabilizzazione esistente.

Le zavorre hanno sia il compito di contrastare l'azione del vento sui pannelli sia di ancorare l'impianto alla superficie di appoggio nel caso in cui il solaio non sia dotato di caldana di ripartizione dei carichi.

Il peso complessivo dei moduli fotovoltaici (pannelli + ferramenta) si aggira attorno a 15 kg/m<sup>2</sup> circa; a questo peso si aggiunge la zavorra. È evidente che la somma dei pesi - pannelli + ferramenta + zavorra - non deve superare il sovraccarico previsto per il solaio che sostiene il tutto.

#### Analisi dell'azione del vento

In aggiunta alla verifica del solaio per carichi verticali è necessario verificare anche la tenuta dell'insieme all'azione del vento. Tale verifica dipende dalla dimensione dei pannelli e della loro base di appoggio sul solaio.

Si considera soltanto l'azione del vento alle spalle dei pannelli in quanto quella frontale, essendo i pannelli inclinati di 30° sul lato verticale, risulta modesta.

Il calcolo riguarda la prima fila, quella più esposta, e la zavorra risultante sarà adottata anche per la seconda fila, trascurando l'effetto positivo della protezione reciproca.

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Zona: 2 (Formigine e Provincia di Modena)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
2	25	750	0,015
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			82
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b (T_R = 50$ [m/s])			25,000
$\alpha_R (T_R)$			1,00073
$v_b (TR) = v_b \times \alpha_R$ [m/s])			25,018



**p (pressione del vento [N/mq]) =  $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$**   
 $q_b$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])  
 $c_e$  (coefficiente di esposizione)  
 $c_p$  (coefficiente di forma)  
 $c_d$  (coefficiente dinamico)

Pressione Cinetica di riferimento:  $q_b$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 391,20 \text{ N/m}^2 = 39,89 \text{ kg/m}^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

Coefficiente di forma:  $c_p$

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

$$c_p = 1$$

Coefficiente dinamico:  $c_d$

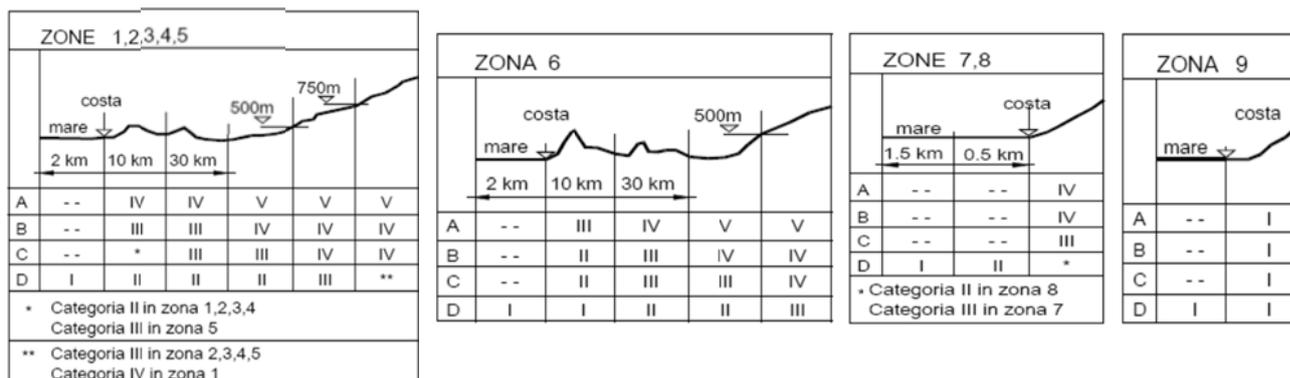
Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

$$c_d = 1$$

Coefficiente di esposizione:  $c_e$

**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**



Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
2	C	82

- Classe di rugosità del terreno: B (Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive).

Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]	$C_t$
III	0,2	0,1	5	1

$$c_e(z) = k_{r2} \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

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

In questo caso, essendo  $z \geq z_{min}$ , avremo

$$c_e(z) = 2,27$$

In definitiva:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 39,89 \cdot 2,27 \cdot (-0,6) \cdot 1 = 54,33 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

---

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

---

Partendo dai seguenti dati di calcolo:

Dimensione Pannello: L = 1,65; H = 0,99; Inclinazione: 30°

Pesi: Modulo = 19 Kg; Zavorra = 58 kg

**Azioni ribaltanti**

Forza del vento	(54,33 x 1,65 x 0,99)	88,75	kg
Spinta ribaltante	(88,75 x Cos 30°)	76,86	kg
Braccio ribaltante	(85,4/2)	0,427	m
Momento ribaltante	(Srib x Brib = 76,86 x 0,427)	32,82	kgm

**Azioni stabilizzanti**

Braccio stabilizzante (MODULO)	(85,4/2)	0,427	m
Braccio stabilizzante (ZAVORRA)	(85,4/2)	0,427	m
Momento stabilizzante (MODULO)	(19 x 0,427)	8,11	kgm
Momento stabilizzante (ZAVORRA)	(58 x 0,427)	24,77	kgm
Momento stabilizzante totale		32,88	kgm

Momento stabilizzante totale = 32,88 kgm

Momento ribaltante totale = 32,82 kgm

M stab(Tot) > M Rib(Tot)

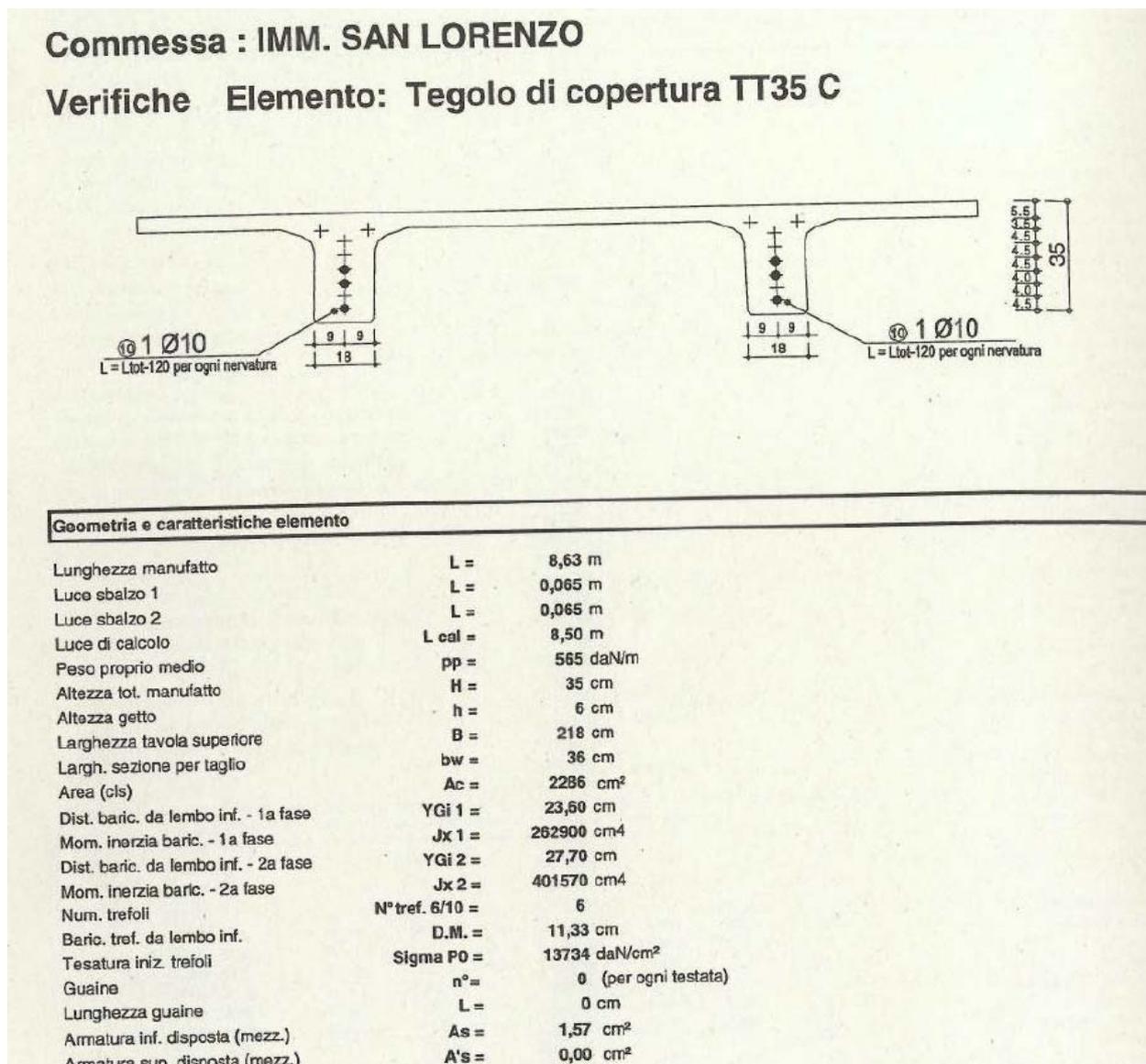
La verifica risulta soddisfatta.

## 5. VERIFICA DELLA PORTANZA DEL SOLAIO

La struttura fotovoltaica da apporre sul solaio risulta avere un peso complessivo, riferito al singolo pannello, di circa 19+58 kg (costituito dalla somma dei pesi propri del modulo fotovoltaico e della zavorra) distribuito su un'area di circa 1,40 m<sup>2</sup> c.a. (proiezione modulo+ zavorre) ed assumendo una distribuzione uniforme del carico, si ottiene un carico specifico agente sul solaio pari a circa 55 kg/m<sup>2</sup>.

### 5.1. TEGOLO DI COPERTURA TT35C LUNGHEZZA 8,63 M

Si riporta di seguito un estratto della relazione di calcolo originale, relativo alla verifica dei tegoli di copertura dove deve essere installato l'impianto fotovoltaico:



**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

**Azioni caratteristiche**

Peso proprio	pp =	565 daN/m
Sovraccarico permanente 1a fase	p1 =	330 daN/m
Sovraccarico permanente 2a fase	p2 =	555 daN/m
Sovraccarico permanente totale	p = p1 + p2 =	980 daN/m
Sovraccarico variabile	a =	435 daN/m

**Azioni di progetto**

Combinazione quasi permanente	q(qp) =	1675 daN/m	pp+p1+p2+0,3a
Combinazione frequente	q(fr) =	1760 daN/m	pp+p1+p2+0,5a
Combinazione rara	q(ra) =	1980 daN/m	pp+p1+p2+a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	2790 daN/m	1,3(pp+p1)+1,5p2+1,5a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	1845 daN/m	1,0(pp+p)+0,7a

**Caratteristiche materiali**

Coeff. sicurezza cls	Gamma c =	1,40			
Coeff. sicurezza acciaio lento	Gamma s =	1,15			
Coeff. sicurezza trefoli	Gamma p =	1,15			
Cls fasi transitorie	Rckj =	400 daN/cm <sup>2</sup>	fckj =	332 daN/cm <sup>2</sup>	fcdj = 237 daN/cm <sup>2</sup>
			fctmj =	-31,2 daN/cm <sup>2</sup>	fcfmj = -37,4 daN/cm <sup>2</sup>
			fck =	457 daN/cm <sup>2</sup>	fcd = 326 daN/cm <sup>2</sup>
Cls fasi definitive	Rck =	550 daN/cm <sup>2</sup>	fctm =	-38,5 daN/cm <sup>2</sup>	fcfm = -46,3 daN/cm <sup>2</sup>
			fyk =	4500 daN/cm <sup>2</sup>	fsd = 3913 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - barre ad. migl.	ftk =	5400 daN/cm <sup>2</sup>	fs0,2k =	4250 daN/cm <sup>2</sup>	fsd = 3696 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - reti elettros.	ftk =	4630 daN/cm <sup>2</sup>	fp0,2k =	16700 daN/cm <sup>2</sup>	fpd = 10500 daN/cm <sup>2</sup>
Trefoli 1/2"	fpk =	18600 daN/cm <sup>2</sup>			

**Verifica allo S.L.U. per flessione**

Sez. di verifica (mezzera)	x =	4,700 m
Momento sollec. di progetto	M <sub>sd</sub> =	25125 daNm
Momento resist. di progetto	M <sub>rd</sub> =	37110 daNm
Tipo di crisi		acciaio
	k = M <sub>rd</sub> /M <sub>sd</sub> =	1,48 > 1,00

**Verifica allo S.L.E. - fasi transitorie**

Sezione di verifica	x =	0,80 m	Sollevamento (coeff. dinamico=1,15)
Momento carichi esterni	Me =	-207 daN m	Sezione interamente reagente
Area trefoli attivi	Ap =	8,34 cm <sup>2</sup>	
Area acciaio superiore	As =	0,00 cm <sup>2</sup>	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c s =	-12,2 daN/cm <sup>2</sup>	< fctkj = -31,2 daN/cm <sup>2</sup>
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i =	178,5 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,6 fckj = 232,4 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica	x =	1,00 m	Trasporto (coeff. dinamico=1,15)
Momento carichi esterni	Me =	-323 daN m	Sezione interamente reagente
Area trefoli attivi	Ap =	8,34 cm <sup>2</sup>	
Area acciaio superiore	As =	0,00 cm <sup>2</sup>	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c s =	-12,2 daN/cm <sup>2</sup>	< fctkj = -31,2 daN/cm <sup>2</sup>
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i =	172,0 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,7 fckj = 232,4 daN/cm <sup>2</sup>

**Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - compressione cls in esercizio**

Sezione di verifica (1a sezione precompressa)	x =	0,81 m	Combinazione quasi permanente
Momento carichi esterni	Me =	4015 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c =	103,3 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,45 fck = 205,4 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x =	4,31 m	Combinazione quasi permanente
Momento carichi esterni	Me =	15070 daN m	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c =	38,3 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,45 fck = 205,4 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x =	4,31 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me =	17815 daN m	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c =	43,4 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,60 fck = 273,9 daN/cm <sup>2</sup>

**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - trazione acciaio in esercizio		
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 4,31 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me = 17815 daN m	
Sigma trefoli	Sigma p = 10915 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,50 fpk = 11160 daN/cm <sup>2</sup>
Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - fessurazione per flessione		
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 4,31 m	Combinazione frequente
Momento carichi esterni	Me = 15855 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = 9,7 daN/cm <sup>2</sup>	< fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup> compressa
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 4,31 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me = 17815 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = -5,5 daN/cm <sup>2</sup>	< fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup>

Sul tegolo sono presenti 7 pannelli con zavorra

È stato verificato che il sovraccarico allo stato limite ultimo SLU

$$SLU = (1,3 * (pp + p1) + 1,5 * p2 + 1,5 * a + p3(\text{peso pannello} + \text{zavorra/lung}) * 1,5(\text{amp. slu}) * 1,5(\text{amp. din})$$

$$SLU = (1,3 * (565 + 330) + 1,5 * 655 + 1,5 * 435 + 77 * 7/8,63 * 1,5 * 1,5 = 2939,03 \text{ daN/m}$$

$$M'sd = SLU * \frac{Lt^2}{8} = 2939,03 * \frac{8,63^2}{8} = 27361,2 \text{ daN/m}$$

risulta ammissibile in quanto il momento resistente 37110 è ancora superiore al sollecitante.

**5.2 TEGOLO DI COPERTURA TT35C LUNGHEZZA 10,33 M**

Si riporta di seguito un estratto della relazione di calcolo originale, relativo alla verifica dei tegoli di copertura dove deve essere installato l'impianto fotovoltaico:



**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

**Geometria e caratteristiche elemento**

Lunghezza manufatto	L =	10,33 m
Luce sbalzo 1	L =	0,065 m
Luce sbalzo 2	L =	0,065 m
Luce di calcolo	L cal =	10,20 m
Peso proprio medio	pp =	605 daN/m
Altezza tot. manufatto	H =	35 cm
Altezza getto	h =	6 cm
Larghezza tavola superiore	B =	249 cm
Largh. sezione per taglio	bw =	36 cm
Area (cls)	Ac =	2469 cm <sup>2</sup>
Dist. baric. da lembo inf. - 1a fase	YGi 1 =	24,00 cm
Mom. inerzia baric. - 1a fase	Jx 1 =	282660 cm <sup>4</sup>
Dist. baric. da lembo inf. - 2a fase	YGi 2 =	28,10 cm
Mom. inerzia baric. - 2a fase	Jx 2 =	430510 cm <sup>4</sup>
Num. trefoli	N° tref. 6/10 =	8
Baric. tref. da lembo inf.	D.M. =	10,62 cm
Tesatura iniz. trefoli	Sigma P0 =	13734 daN/cm <sup>2</sup>
Guaine	n° =	2 (per ogni testata)
Lunghezza guaine	L =	180 cm
Armatura inf. disposta (mezz.)	As =	3,08 cm <sup>2</sup>
Armatura sup. disposta (mezz.)	A's =	0,00 cm <sup>2</sup>

**Azioni caratteristiche**

Peso proprio	pp =	605 daN/m
Sovraccarico permanente 1a fase	p1 =	375 daN/m
Sovraccarico permanente 2a fase	p2 =	750 daN/m
Sovraccarico permanente totale	p = p1 + p2 =	1125 daN/m
Sovraccarico variabile	a =	500 daN/m

**Azioni di progetto**

Combinazione quasi permanente	q(qp) =	1875 daN/m	pp+p1+p2+0,3a
Combinazione frequente	q(fr) =	1975 daN/m	pp+p1+p2+0,5a
Combinazione rara	q(ra) =	2220 daN/m	pp+p1+p2+a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	3135 daN/m	1,3(pp+p1)+1,5p2+1,5a
Combinazione S.L.U.	q(S.L.U.) =	2075 daN/m	1,0(pp+p)+0,7a

**Caratteristiche materiali**

Coeff. sicurezza cls	Gamma c =	1,40		
Coeff. sicurezza acciaio lento	Gamma s =	1,15		
Coeff. sicurezza trefoli	Gamma p =	1,15		
Cls fasi transitorie	Rckj =	420 daN/cm <sup>2</sup>	fckj = 349 daN/cm <sup>2</sup>	fcdj = 249 daN/cm <sup>2</sup>
			fctrnj = -32,2 daN/cm <sup>2</sup>	fctrnj = -38,7 daN/cm <sup>2</sup>
Cls fasi definitive	Rck =	550 daN/cm <sup>2</sup>	fck = 457 daN/cm <sup>2</sup>	fcd = 326 daN/cm <sup>2</sup>
			fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup>	fctm = -46,3 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - barre ad. migl.	ftk =	5400 daN/cm <sup>2</sup>	fyk = 4500 daN/cm <sup>2</sup>	fsd = 3913 daN/cm <sup>2</sup>
Acciaio lento - reti elettros.	ftk =	4630 daN/cm <sup>2</sup>	fs0,2k = 4250 daN/cm <sup>2</sup>	fsd = 3696 daN/cm <sup>2</sup>
Trefoli 1/2"	fpk =	18600 daN/cm <sup>2</sup>	fp0,2k = 16700 daN/cm <sup>2</sup>	fpd = 10500 daN/cm <sup>2</sup>

**Verifica allo S.L.U. per flessione**

Sez. di verifica (mezzeria)	x =	4,700 m	x =	2,590 m
Momento sollec. di progetto	M <sup>sd</sup> =	40760 daNm	M <sup>sd</sup> =	30362 daNm
Momento resist. di progetto	Mrd =	51310 daNm	Mrd =	39480 daNm
Tipo di crisi		acciaio		trefoli
	k = Mrd/Msd =	1,26 > 1,00		k = Mrd/Msd = 1,30 > 1,00

**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**

**PROGETTO ESECUTIVO: RELAZIONE STRUTTURALE AGGANCI FOTOVOLTAICO**

Verifica allo S.L.E. - fasi transitorie		
Sezione di verifica	x = 0,80 m	Sollevamento (coeff. dinamico=1,15)
Momento carichi esterni	Me = -221 daN m	Sezione interamente reagente
Area trefoli attivi	Ap = 8,34 cm <sup>2</sup>	
Area acciaio superiore	As = 0,00 cm <sup>2</sup>	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c s = -12,2 daN/cm <sup>2</sup>	< fctkj = -32,2 daN/cm <sup>2</sup>
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = 178,4 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,6 fckj = 244,0 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica	x = 1,81 m	Sollevamento (coeff. dinamico=1,15)
Momento carichi esterni	Me = -1132 daN m	Sezione interamente reagente
Area trefoli attivi	Ap = 8,34 cm <sup>2</sup>	
Area acciaio superiore	As = 0,00 cm <sup>2</sup>	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c s = -1,6 daN/cm <sup>2</sup>	< fctkj = -32,2 daN/cm <sup>2</sup>
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = 197,2 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,7 fckj = 244,0 daN/cm <sup>2</sup>
Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - compressione cls in esercizio		
Sezione di verifica (1a sezione precompressa)	x = 0,81 m	Combinazione quasi permanente
Momento carichi esterni	Me = 5685 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c = 94,2 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,45 fck = 205,4 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 5,17 m	Combinazione quasi permanente
Momento carichi esterni	Me = 24330 daN m	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c = 53,7 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,45 fck = 205,4 daN/cm <sup>2</sup>
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 5,17 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me = 28860 daN m	
Sigma cls lembo superiore	Sigma c = 60,9 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,60 fck = 273,9 daN/cm <sup>2</sup>
Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - trazione acciaio in esercizio		
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 5,17 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me = 28860 daN m	
Sigma trefoli	Sigma p = 10458 daN/cm <sup>2</sup>	< 0,60 fpk = 11160 daN/cm <sup>2</sup>
Verifiche allo S.L.E. - fase definitiva - fessurazione per flessione		
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 5,17 m	Combinazione frequente
Momento carichi esterni	Me = 25625 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = 0,5 daN/cm <sup>2</sup>	< fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup> compressa
Sezione di verifica ( x di Momento massimo)	x = 5,17 m	Combinazione rara
Momento carichi esterni	Me = 28860 daN m	
Sigma cls lembo inferiore	Sigma c i = -20,8 daN/cm <sup>2</sup>	< fctm = -38,6 daN/cm <sup>2</sup>

Sul tegolo sono presenti 9 pannelli con zavorra

È stato verificato che il sovraccarico allo stato limite ultimo SLU

$$SLU = (1,3 * (pp + p1) + 1,5 * p2 + 1,5 * a + p3(\text{peso pannello} + \text{zavorra/lung}) * 1,5 (\text{amp. slu}) * 1,5(\text{amp. din})$$

$$SLU = (1,3 * (605 + 375) + 1,5 * 750 + 1,5 * 500 + 77 * 9/10,33 * 1,5 * 1,5 = 3299,94 \text{ daN/m}$$

$$M'sd = SLU * \frac{Lt^2}{8} = 3299,94 * \frac{10,33^2}{8} = 44016,67 \text{ daN/m}$$

risulta ammissibile in quanto il momento resistente 51310 è ancora superiore al sollecitante.

**Y.U.PPIES' SERVICES S.r.l.**