



Comune di Pantelleria

Provincia di Trapani

SETTORE II

Lavori di manutenzione straordinaria della scuola elementare
di Kamma

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione impianto fotovoltaico

R.2

Il Progettista
Arch. Domenico Orobello

Il Responsabile del procedimento
Geom. Salvatore Gambino

INDICE

1. PREMESSE
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO
3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO
4. DESCRIZIONE DELLA STRUTURA METALLICA DI SOSTEGNO
5. SPECIFICHE TECNICHE
6. VERIFICA STATICA SOLAIO DI APPOGGIO
7. VERIFICA AL RIBALTAMENTO SOTTO L'AZIONE DEL VENTO
8. CALCOLO DELL'ENERGIA PRODOTTA

PREMESSE

Nell'ambito del progetto dei lavori di manutenzione straordinario del plesso scolastico dove insiste la scuola elementare di Kamma, saranno eseguiti i lavori di realizzazione di un impianto fotovoltaico da 15,1 Kwp da realizzare sul lastrico solare.

Il presente progetto prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico composto di 63 moduli da 250 W orientati a Sud con inclinazione di 20° e da montare su una struttura metallica.

INQUADRAMENTO NORMATIVO

- **D.L.gs 163/2006**, *Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, e s.m.i.*;
- **D.P.R. 207/2010**, Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante “ Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle Direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE ”
- **D.L.gs 81/2008**, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza dei luoghi di lavoro, e s.m.i.*;
- **Legge 46/1990**, *Norme per la sicurezza degli impianti*;
- **D.M. 37/2008**, *“Installazione di impianti all'interno degli edifici”*;
- **Legge 64/1974** ”Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”. Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.
- **Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008** “Norme tecniche per le Costruzioni”
- **Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** “Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.
- **Norma CEI 64-8**, *Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.*
- **Norma CEI 82-25**, *Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di bassa e media tensione*;

- Specifiche tecnica SMEDE (distributore dell'energia a Pantelleria: tutti i documenti sono scaricabili dal sito internet della società), *PNT 1 Regole tecniche di connessione degli impianti produttori;*
- Specifica tecnica SMEDE, *PNT 2 Soluzioni tecniche standard per la connessione degli impianti produttori;*
- Specifica tecnica SMEDE, *PNT 3 Istruzioni tecniche standard per la connessione degli impianti produttori;*
- Specifica tecnica SMEDE, *PNT 4 Richiesta di connessione per impianti di produzione;*
- Specifica tecnica SMEDE, *PNT 5 Regolamento di esercizio.*

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

L'impianto verrà costruito sulla copertura della ala dell'edificio scolastico direttrice nord-sud ed esposto a sud. E' composto da 63 pannelli disposti in 12 file da 4 pannelli e 3 file da 5 pannelli.

Dal punto di vista elettrico è organizzato in stringhe connessi in serie a formare un sistema trifase da collegare in parallelo alla rete.

Realizzate le stringhe i cavi verranno raccolti – in un tubo protettivo di PVC da 40 mm di diametro - lungo il lato nord della copertura.

Giunti all'angolo di confine della copertura, si scenderanno le linee fino al q.e. generale dell'edificio, dove verranno installati:

- il quadro di sezionamento e protezione delle tre stringhe fotovoltaiche,
- l'inverter trifase,
- il quadro di sezionamento e protezione lato corrente alternata,
- l'eventuale contatore dell'energia prodotto dall'impianto fotovoltaico.
- il dispositivo di interfaccia e protezione per il collegamento alla rete,

In uscita, dall'ultima apparecchiatura, si potrà eseguire il collegamento alla rete sull'interruttore principale del Quadro Elettrico Generale dell'edificio scolastico.

L'impresa avrà l'onere di realizzare l'impianto in tutte le sue componenti, come descritto in questa relazione, nelle tavole e nei documenti contabili; dovrà inoltre occuparsi dell'allacciamento alla rete S.MED.E. Pantelleria S.p.A. sia dal punto di vista tecnico che da quello amministrativo.

Al termine del lavoro l'appaltatore dovrà rilasciare la dichiarazione di conformità dell'impianto alla regola dell'arte, come previsto dalla Legge 46/90 e dal DM 37/2008.

DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA METALLICA DI SOSTEGNO

Dal punto di vista meccanico i moduli fotovoltaici sono fissati su idonee cavallette realizzate con profili di alluminio ad "L" delle dimensioni di 50 x 50 mm e spessore 4 mm.

Le cavallette sono quindi ancorate sotto il tappeto sedan. Tale profilo si sviluppa lungo tutta la fila di moduli fotovoltaici raggiungendo entrambi gli opposti bordi del cornicione del tetto.

Ciascun canale di ancoraggio dispone di n° 3 inserti filettati tipo M10. Un'intera fila di 4 o 5 moduli fotovoltaici è sostenuta da n° 2 profili di acciaio zincato di idonea lunghezza e zavorrati tramite l'ausilio di piastre e tasselli connettori e, *laddove non possibile*, da zavorre in calcestruzzo.

Degli ulteriori profili ciechi in alluminio della sezione di mm. 41 x 30 provvedono a congiungere tutti gli estremi delle fila dei moduli al cornicione dove sono ancorati con idonee piastre di ancoraggio da mm. 120x120x0,10.

Allo stesso modo, nel verso ortogonale, e quindi in direzione Sud / Nord tutta la struttura metallica così composta è stata anche vincolata agli altri due bordi del cornicione.

Si è pensato infine di collocare un "tappo" di lamiera di alluminio delle dimensioni di 425 x 1733 mm e dello spessore di 2,5 mm sul "posteriore" di ogni singola cavalletta di sostegno dei moduli fotovoltaici per proteggere la struttura da possibili azioni turbolente di vento.

SPECIFICHE TECNICHE

I pannelli fotovoltaici sono da 250 W nominale, con i seguenti dati tecnici salienti:

V_{mp} tensione alla massima potenza 30,03 V

I_{mp} corrente alla massima potenza 8,32 A

Ciascuna stringa avrà quindi i seguenti dati:

V_{mp} stringa = 30,03 x 21 = 630,63 V

I_{mp} stringa = 8,32 A

P stringa = 5.250 W

Per effettuare il collegamento in serie dei pannelli e la discesa verso l'inverter è necessario utilizzare un cavo la cui portata sia maggiore della corrente di stringa: si prescrive un cavo tipo FG21M21, sezione 6 mm^2 , che ha una portata a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ di 70 A . Il cavo deve essere conforme alla norma CEI 20-19; si utilizzi il rosso per il polo positivo e il nero per il negativo.

I sezionatori di stringa sono stati dimensionati a 12 A .

In uscita dall'inverter, considerando che la potenza di ciascuna fase è di 5.250 W , ho i seguenti dati:

$$V_{\text{fase}} = 400 \text{ V}$$

$$\text{Cos phi (ipotizzato)} = 0,9$$

$$I_{\text{fase}} = 8,42 \text{ A}$$

Il cavo da utilizzare per tutti i collegamenti in uscita dall'inverter deve quindi avere almeno quella portata: si prescrive di effettuarli con cavo N07V-K 6 mm^2 , che ha una portata di circa 36 A .

L'interruttore magnetotermico e differenziale sul lato AC è trifase, 16 A , 300 mA , 4500 A .

Come dispositivo di interfaccia e di protezione si utilizzi il *Lovato Electronics PMVF 50* o similari; il dispositivo deve comunque essere conforme alla norma CEI 0-21 ed alle specifiche tecniche SMEDE citate.

VERIFICA STATICA SOLAIO DI APPOGGIO

Le verifiche di seguito riportate sono finalizzate ad accertare se il solaio dove verrà installato l'impianto fotovoltaico è idoneo a tale funzione e se il sovraccarico garantiscono la necessaria sicurezza sotto l'azione del vento.

Nella seguente verifica è stato accertato che il solaio di copertura possa sopportare il carico determinato dall'impianto fotovoltaico.

Il solaio su cui andrà realizzato l'impianto fotovoltaico è un solaio semi prefabbricato ad un'unica campata del tipo PME della ditta Fauci con spessore $\text{cm } 40 + 5$.

Oltre ai carichi permanenti e dai pesi delle sovrastrutture, la struttura è stata calcolata per un carico variabile di 3 KN/m^2 .

La determinazione del carico variabile è stata effettuata ai sensi del punto 3.1.4 delle norme tecniche 2008, tabella 3.1.II. La copertura essendo praticabile rientra nella categoria H2 a cui va assegnato il carico variabile della categoria di appartenenza dell'edificio. L'edificio pertanto rientra nella categoria C1 a cui è assegnato un carico variabile di 3 KN/m^2 .

Dalle schede tecniche fornite dalla *CBD Elettronic S.r.l.* relativamente al modulo fotovoltaico utilizzato e ai supporti necessari per la loro installazione (quali profili, giunzioni, staffe, cavallette, zavorre) risulta che:

$$P_1 = P_{\text{modulo}} = 21,4 \text{ kg}$$

$$P_2 = P_{\text{profilo cieco } 41 \times 30} = 0,7 \text{ kg/m}$$

$$P_3 = P_{\text{profilo a L per cavalletta}} = 1,04 \text{ kg/m}$$

$$P_4 = P_{\text{profilo forato } 41 \times 41} = 2,43 \text{ kg/m}$$

$$P_5 = P_{\text{zavorra}} = 38 \text{ kg}$$

$$P_6 = P_{\text{lamiere alluminio}} = 4,65 \text{ kg}$$

Ai fini della determinazione del carico unitario kg/mq che agisce sul solaio è stata considerata la condizione di carico più gravosa, e cioè quella in cui in un'area di solaio pari a 0,940 x 1,683 m agiscono il peso generato dal modulo fotovoltaico, dalla cavalletta, dai profilati e dalle zavorre; e in riferimento ai particolari esecutivi in allegato si ha:

$$P_1 = P_{\text{modulo}} = 21,4 \text{ kg}$$

$$P_2 = P_{\text{profilo cieco } 41 \times 30} = 2 * 1,683 \text{ m} * 0,7 \text{ kg/m} = 2,36 \text{ kg}$$

$$P_3 = P_{\text{cavalletta}} = (0,936 + 0,972 + 0,365) \text{ m} * 1,04 \text{ kg/m} = 2,36 \text{ kg}$$

$$P_4 = P_{\text{profilo forato } 41 \times 41} = (2 * 1,683 \text{ m} + 0,984) * 2,43 \text{ kg/m} = 10,57 \text{ kg}$$

$$P_5 = P_{\text{zavorra}} = 6 * 38 \text{ kg} = 228 \text{ kg} \text{ compreso incidenza terreno sedum}$$

$$P_6 = P_{\text{lamiere alluminio}} = 4,65 \text{ kg}$$

Il carico totale agente sulla superficie di dimensioni 0,940 x 1,683 m risulta quindi pari a:

$$P_{\text{tot}} = 269,34 \text{ kg}$$

Considerando che la struttura presenta anche alcune piastrine di giunzione e diversi bulloni, approssimiamo il carico a 275 kg.

Il carico specifico generato dal modulo fotovoltaico e dalla struttura di sostegno sul solaio risulta quindi:

$$P_{\text{modulo+struttura}} = 275 \text{ kg} / (0,940 * 1,683) \text{ m} \cong 174 \text{ Kg/mq}$$

Oltre ai carichi sopra calcolati, è stata considerata anche l'azione del vento che agendo sui moduli inclinati di 20° genera sul solaio di copertura un'azione verticale.

Calcolo pressione del vento

La pressione del vento, calcolata *secondo il D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”*, si ricava dalla seguente espressione:

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

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma , funzione della tipologia e della geometria della costruzione

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1.

Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \cong 60 \text{ kg/m}^2$$

dove

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità dell'aria)}$$

$$v_b = 31 \text{ m/s (la struttura ricade in Zona 9 - Isole e mare aperto – massima condizione di carico)}$$

Coefficiente di esposizione

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

Per la categoria I :

$$k_r = 0,17$$

$$z_0 = 0,01 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$c_t = 1 \text{ (coefficiente di topografia)}$$

$$c_e(10 \text{ m}) = 2,78$$

Coefficiente di forma

$$c_p = \pm 1,2$$

La pressione del vento a 10 m dal suolo è:

$$P_{vento\ a\ 10\ m} = q_b c_e c_p c_d = 199,91\ kg/m^2$$

L'azione del vento che agisce su un modulo fotovoltaico risulta quindi:

$$P_{vento} = 199,91\ kg/mq * 1,66\ mq = 331,78\ kg$$

La componente verticale sarà pertanto:

$$F_{vento.vert.} = 331,78\ kg * \sin 70^\circ = 311,70\ kg$$

Il carico specifico generato dal vento sul solaio risulta quindi:

$$P_{vento} = 311,70\ kg / (0,940 * 1,683)m \cong 197\ Kg/mq$$

Dalla combinazione delle due azioni ($P_{modulo+struttura} + P_{vento}$) si ottiene il carico complessivo che agisce sulla proiezione a terra di un modulo fotovoltaico.

Adottando il coefficiente di combinazione previsto dal Paragrafo 2.5.3 Tab. 2.5.I delle Norme Tecniche 14 Gennaio 2008:

$$\psi_{0j} = 0,6$$

$$P_{tot} = 174\ kg/mq + 0,6 * 197\ Kg/mq \cong 292\ Kg/mq$$

Considerato che il sovraccarico variabile di progetto del solaio è pari a 300 Kg/mq e che il peso dell'impianto fotovoltaico + azione combinata del vento è pari a 292 Kg/mq:

peso impianto fotovoltaico < sovraccarico di progetto del solaio, la verifica quindi risulta soddisfatta.

VERIFICA AL RIBALTAMENTO SOTTO AZIONE DEL VENTO

Nella seguente verifica è stato analizzato un singolo elemento (modulo + struttura + zavorre) sotto l'azione del vento per accertare se le zavorre utilizzate sono idonee alla sicurezza e stabilità del manufatto.

I moduli fotovoltaici saranno installati sulla sommità di un edificio con superficie piana (anche se gli impianti saranno completamente sotto il filo del cornicione di perimetrazione del solaio, tale condizione viene trascurata a vantaggio del calcolo) e, considerata la struttura del campo fotovoltaico, sono plausibili le seguenti ipotesi:

- per superficie di esposizione con vento da Nord e moduli inclinati di 20° viene considerata la proiezione perpendicolare alla direzione del vento;
- si trascura l'effetto dello scivolamento.

La verifica è condotta sui moduli fotovoltaici disposti nelle condizioni più sfavorevoli (maggiormente esposti all'azione del vento) e trascurando la presenza della lamiera di alluminio collocata nella parte posteriore del modulo, che chiude l'accesso al vento (anche questa condizione viene trascurata a vantaggio del calcolo).

I moduli fotovoltaici da installare hanno dimensioni pari a 0,998 x 1,663 m con angolo di inclinazione pari a 20°.

L'azione del vento che agisce su un modulo fotovoltaico risulta quindi

$$F_{vento} = P_{vento} * 1,66 * \text{sen}20^\circ = 199,91 \text{ kg/mq} * 0,57 \text{ mq} = 113,42 \text{ kg}$$

Per ogni modulo si ipotizza l'utilizzo di n. 2 cavallette e n.8 zavorre in calcestruzzo.

Verifica al ribaltamento (D.M. 14/01/2008)

Azioni ribaltanti:

- Forza del vento applicata al centro del modulo fotovoltaico x braccio ribaltante

$$M_{instab.} = 113,42 * 0,5 = 56,71 \text{ kgm}$$

Azioni stabilizzanti:

- Peso del modulo + struttura in alluminio x braccio stabilizzante

$$P_1 = P_{modulo} = 21,4 \text{ kg}$$

$$P_2 = P_{profilo\ cieco\ 41x30} = 2 * 0,7 \text{ kg/m} * 1,683 \text{ m} = 2,36 \text{ kg}$$

$$P_4 = P_{profilo\ forato\ 41x41} = (2 * 1,683 \text{ m} + 0,984 \text{ m}) * 2,43 \text{ kg/m} = 10,57 \text{ kg}$$

$$M_{stab.\ struttura} = 34,33 * 0,47 = 16,13 \text{ kgm}$$

$$P_3 = P_{cavalletta} = 2 * (0,972 + 0,936 + 0,365) \text{ m} * 1,04 \text{ kg/m} = 4,73 \text{ kg}$$

$$M_{stab.\ struttura} = 0,9 * 4,73 * 0,63 = 2,96 \text{ kgm}$$

- Peso delle zavorre x braccio stabilizzante

$$M_{stab.\ zavorre\ posteriori} = 4 * 38 * 0,842 = 127,98 \text{ kgm}$$

$$M_{stab.\ zavorre\ anteriori} = 4 * 38 * 0,098 = 14,82 \text{ kgm}$$

$$M_{stabilizzante\ tot.} = 161,90 \text{ kgm}$$

Si esegue una verifica al ribaltamento impiegando i coefficienti parziali γ_F della Tab. 2.6.I del D.M. 14/01/2008 dello stato limite di corpo rigido (EQU).

$$M_{stabilizzante\ tot.} = 0,9 * 161,90\ kgm = 145,71\ kgm$$

$$M_{instabilizzante\ tot.} = 1,5 * 56,71\ kgm = 85,06\ kgm$$

$$M_{stabilizzante} > M_{instabilizzante}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Ad ulteriore garanzia di stabilità sotto l'azione del vento (soprattutto per i casi estremi di moti turbolenti con componenti verticali) , si consiglia comunque un ulteriore accorgimento tecnico consistente nell'ancoraggio lungo i bordi perimetrali del cornicione di tutta la struttura metallica di sostegno dei moduli fotovoltaici proseguendo quindi i bracci di sostegno dei profili fino al parapetto.

Al parapetto saranno quindi fissati mediante apposito supporto asolato in acciaio inox la cui asola ovale di 11 x 30 mm consente anche di assorbire completamente la deformazione dei profili sotto l'azione termica.

Si è infatti verificato che tutta la struttura metallica, resa solidale per le mutue connessioni meccaniche sia sollecitata termicamente in funzione dei seguenti parametri:

$$T_{min} = 5^{\circ}$$

$$T_{max} = 40^{\circ}$$

$$L = 15\ m.$$

$$\alpha = 0,000024\ (\text{coefficiente di dilatazione dell'alluminio})\ m. \times L \times \Delta T^{\circ}$$

$$\Delta T^{\circ} = \text{differenza di temperatura tra } T_{max} \text{ e } T_{min}$$

L'allungamento delle barre di alluminio risulta essere pari a:

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T = 0,000024 * 15 * (40-5) = 0,0126\ m$$

I supporti asolati contrapposti sulla stessa bara dispongo di 30 + 30 mm. = 6 cm. di canale di scorrimento, sufficiente a garantire il contenimento della dilatazione termica della barra di alluminio ad essa fissata lunga 15 m. e pari a 1,26 cm. di allungamento tra estate ed inverno.

CALCOLO ENERGIA PRODOTTA

Dati di input

Latitudine: 36°49,8' N

Longitudine: 11°56,7' E

Azimut: 0°

Inclinazione: 20°

Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: UNI 8477/1

Coefficiente di riflessione del suolo: 0,25

Unità di misura: KWh/mq

Gennaio 3,51 KWh/mq

Febbraio 4,26 KWh/mq

Marzo 5,04 KWh/mq

Aprile 5,69 KWh/mq

Maggio 6,27 KWh/mq

Giugno 6,37 KWh/mq

Luglio 6,50 KWh/mq

Agosto 6,07 KWh/mq

Settembre 5,30 KWh/mq

Ottobre 4,52 KWh/mq

Novembre 3,55 KWh/mq

Dicembre 3,20 KWh/mq

Radiazione globale annua sulla superficie inclinata di 20°:

1.836 kWh/mq (anno convenzionale di 365,25 giorni)

Numero pannelli: 63

Potenza singolo pannello: 0,250 kW

Energia totale annua prodotta dall'impianto (teorica) :

$$1.836 \times 63 \times 0,25 = 28.917 \text{ kW}$$

Energia totale annua disponibile dall'impianto (reale – considerate perdite di produzione per dissipazione di energia per riscaldamento dei macchinari, sporcizia dei pannelli, efficienza dell'inverter, etc.)

$$28.917 \text{ kw} \times 0,75 = 21.687,75 \text{ kW}$$

Il Progettista
Arch. Domenico Orobello