



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AREA  
TECNICA, EDILIZIA  
E SOSTENIBILITÀ

## Realizzazione di un impianto fotovoltaico da installare presso gli edifici siti in via Sant'Alberto, 163 a Ravenna

Progetto Esecutivo

CODICE EDIFICIO  
4000 - 6280  
CUP  
J64D25002360005  
TICKET  
62592

TITOLO GIURIDICO IMMOBILE  
Proprietà Università di Bologna

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO  
ing. Francesca Cioffi



PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI E FOTOVOLTAICI  
Per. Ind. LUCA GIACALONE  
Ordine Periti Industriali Bergamo n. 1600  
Via Don Rossetti, 25 - Grassobbio (BG)  
luca.giacalone@perindlg.it

PROGETTO OPERE STRUTTURALI - EDILI  
ARK STUDIO S.R.L. - Arch. MATTEO ZAGNOLI  
Ordine Architetti di Forlì-Cesena n.825  
Via Santa Croce n.3755 - Bertinoro (FC)  
info@arkstudioromagna.it

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  
ARK STUDIO S.R.L. - Arch. MATTEO ZAGNOLI  
Ordine Architetti di Forlì-Cesena n.825  
Via Santa Croce n.3755 - Bertinoro (FC)  
info@arkstudioromagna.it

LOGHI

REV	DATA	OGGETTO TAVOLA
01	30/09/2025	Relazione tecnica descrittiva

N. progressivo EE  
8

NOME TAVOLA  
PE-A-DG01

# **RELAZIONE TECNICA IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

## **1. OGGETTO**

L'oggetto del presente intervento è la realizzazione di un nuovo impianto di produzione di energia elettrica tramite conversione fotovoltaica sulla copertura dell'edificio dell'Università di Bologna, in Via Sant'Alberto 163 a Ravenna.

L'intervento consiste nella realizzazione di un impianto, della potenza complessiva di 194,205 kWp.

Il sistema fotovoltaico sarà collegato alla rete di bassa tensione interna dell'attività per soddisfare gli assorbimenti del complesso universitario (autoconsumo) e sarà connesso con la rete pubblica di distribuzione mediante trasformatori MT/BT, in regime di ritiro dedicato (RID), per l'eventuale energia in eccesso.

L'edificio su cui si installerà l'impianto fotovoltaico è sede di aule, uffici e laboratori universitari.

In particolare, l'impianto oggetto di relazione sarà composto da n. 321 moduli fotovoltaici installati in copertura. I moduli sono con celle in silicio monocristallino, ciascuno di potenza 605Wp: si ottiene così una potenza complessiva della sezione pari a 194,205 kWp.

L'impianto è stato configurato con più inverter trifase, ciascuno dotato di ingressi MPPT separati, ai quali sono collegate stringhe di moduli fotovoltaici, idonei per l'allaccio alla rete BT interna dell'attività.

## **2. ASPETTI NORMATIVI**

Il progetto e la realizzazione dell'impianto fotovoltaico rispetterà integralmente le seguenti disposizioni legislative e normative:

- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V

in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;

- CEI EN 60904-1: Dispositivi fotovoltaici - Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche

tensione-corrente;

- CEI EN 60904-2: Dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di

riferimento;

- CEI EN 60904-3: Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento;

- CEI EN 61727: Sistemi fotovoltaici (FV) – Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo con la rete;

- CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo;

- CEI EN 61000-3-2: Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti Sezione 2: Limiti

per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso = 16 A per fase);

- CEI EN 60555-1: Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni;

- CEI EN 60439-1-2-3: Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione;

- CEI EN 60445: Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico;

- CEI EN 60529: Gradi di protezione degli involucri (codice IP);

- CEI EN 60099-1-2: Scaricatori per sovratensioni;

- CEI 20-19: Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750V;

- CEI 20-20: Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750V;

- CEI 81-10: Protezione delle strutture contro i fulmini;

- CEI 82-25: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione;

- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;

- CEI 0-16: Regole tecniche di connessione;

- UNI 10349: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici;
- CEI EN 61724: Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati.

Inoltre:

- conformità alla marcatura CE per i moduli fotovoltaici e per il convertitore c.c. / c.a. ;
- UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici;
- norme CEI 110-31,28 per il contenuto di armoniche e i disturbi indotti sulla rete dal convertitore c.c. / c.a. ;
- norme CEI 110-1, le CEI 110-6 e le CEI 110-8 per la compatibilità elettromagnetica (EMC) e la limitazione delle emissioni in RF.
- D.Lgs. 9 aprile 2008, n.81 attuazione dell'art.1 della legge 3 agosto 2007, n.123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Decreto 22 gennaio 2008 n. 37 Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.

### **3. SPECIFICHE TECNICHE DELL'IMPIANTO**

I collegamenti in serie dei moduli formanti una stringa saranno realizzati con conduttori, predisposti dallo stesso costruttore del modulo, mediante appositi connettori aventi grado di protezione minimo IP65.

L'intero sistema sarà realizzato con grado di protezione IP65, al fine di garantire la tenuta stagna dell'intero impianto lato dc.

Ciascun modulo sarà provvisto di diodi di by-pass.

I conduttori di collegamento delle stringhe (corrente continua) agli inverter saranno in cavo in gomma con guaina isolata 0,6/1kV del tipo idoneo per impianti solari, con temperatura massima di funzionamento  $\geq 105^{\circ}\text{C}$  e sezione 6-10 mm<sup>2</sup> in relazione alla lunghezza.

I cavi a valle degli stessi inverter (lato ac) saranno conformi alle Norme CEI 20-21 e CEI 21-22. Il dimensionamento dei conduttori è eseguito in modo da minimizzare le perdite energetiche, garantendo la massima sicurezza ed affidabilità dell'impianto.

L'isolamento dei conduttori è rispondente alla normativa rispettando i colori identificativi previsti, sia sul lato in corrente continua che su quello in corrente alternata.

I parametri elettrici all'uscita dell'inverter sono tali da garantire la compatibilità con la rete di distribuzione in bassa tensione.

Il dispositivo di interfaccia è installato in accordo alle prescrizioni della Norma CEI 0-16.

La dorsale in corrente alternata, in uscita dall'inverter, si attesta al gruppo di misura dell'energia prodotta (M2) posto nelle vicinanze degli stessi inverter, in zona accessibile al personale del distributore ed al personale del committente, per le operazioni di verifiche e manutenzione.

L'impianto è progettato per avere una potenza lato corrente continua superiore all'85% della potenza nominale del generatore fotovoltaico ed una potenza, lato corrente alternata, superiore al 90% della potenza lato corrente continua e quindi, una potenza attiva, lato corrente alternata, superiore al 75% della potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, riferita alle particolari condizioni di irraggiamento.

La protezione contro le sovratensioni sarà effettuata con SPD.

I parametri elettrici all'ingresso del gruppo di conversione (inverter) saranno compatibili con quelli del generatore fotovoltaico, mentre quelli all'uscita del gruppo di conversione saranno compatibili con quelli della rete elettrica di distribuzione.

## 4. VALUTAZIONE PRODUZIONE ENERGETICA

La disponibilità della fonte solare per il sito di installazione può essere verificata utilizzando i dati riportati nella norma UNI 10349 relativi a valori giornalieri medi mensili sul piano orizzontale. Il calcolo della radiazione solare ricevuta da una superficie fissa comunque esposta ed orientata può essere determinato mediante le formule riportate nella norma UNI 8477 che utilizzano i valori giornalieri medi mensili della radiazione solare diretta e diffusa sul piano Orizzontale forniti dalla norma UNI 10349.

Utilizzando un software di simulazione si può effettuare il calcolo della radiazione solare per la zona di installazione.

Dati solari:	UNI 10349 Bologna
Orizzonte:	Vuoto
Albedo:	Cemento, 22% della totale radiazione
Latitudine:	44°30'51"
Longitudine:	11°24'25"
Inclinazione generatore fotovoltaico	5.0 gradi
Azimut generatore fotovoltaico	-150°
Tipologia di installazione:	copertura

### ***Radiazione media giornaliera calcolata su superficie inclinata dei moduli (kWh/mq)***

Mese	kWh/mq
Gennaio	1,29
Febbraio	2,18
Marzo	3,48
Aprile	4,91
Maggio	5,92
Giugno	6,77
Luglio	6,91
Agosto	5,94
Settembre	4,32
Ottobre	2,63
Novembre	1,47
Dicembre	1,15

Dai calcoli si ottiene quindi che il valore di radiazione media annua pari a:

$$E_r (\text{anno}) = 1433 \text{ kWh/m}^2$$

### **BILANCI DI POTENZA ED ENERGIA**

La potenza di picco dell'impianto fotovoltaico esprime il valore della potenza erogabile in condizioni di assenza di perdite e di misura standard (STC) con un irraggiamento specifico di 1000 W/mq. Nelle condizioni reali, tuttavia, l'impianto fotovoltaico è irraggiato da una radiazione solare variabile durante l'arco della giornata e nei vari mesi dell'anno. Per poter sfruttare il valore di radiazione solare media annuale, nel calcolo della producibilità dell'impianto, è necessario effettuare due ipotesi semplificative:

- ipotizzare che le prestazioni dei moduli e dunque la produzione di energia siano proporzionali all'irraggiamento;
- ipotizzare che la irradiazione media sia dovuta ad un irraggiamento costante pari al valore STC 1000 W/mq.

In queste condizioni è come se l'impianto producesse la sua potenza di picco per un numero di ore equivalenti ideali pari a:

$$h_{id} \text{ (anno)} = 1435 \text{ ore}$$

#### - PERDITE PER EFFETTO DELLA TEMPERATURA

Ogni modulo fotovoltaico viene fornito dal costruttore con uno sticker incollato sul retro che riporta le prestazioni elettriche in termini di potenza, tensione e corrente. Questi valori sono riferiti per qualunque modulo disponibile sul mercato a condizioni di test standard ( $1000\text{W/m}^2$  -  $25^\circ\text{C}$ ). E' ovvio che le condizioni di funzionamento reali del modulo una volta installato risultano diverse rispetto a quelle di prova, all'aumentare della temperatura delle celle fotovoltaiche diminuisce la potenza erogata dal modulo.

La temperatura di lavoro della cella in determinate condizioni di funzionamento viene calcolata con l'ausilio della seguente formula.

$$T_{cell} = T_a + \frac{T_{NOCT}-20}{800} \times I$$

dove:

$T_{cell}$  = temperatura della cella nelle reali condizioni di funzionamento

$T_a$  = temperatura ambiente diurna

$T_{NOCT}$  = temperatura della cella in condizioni operative nominali (vento 1m/s, temperatura ambiente  $20^\circ\text{C}$  irraggiamento  $800\text{ W/m}^2$ )

$I$  = irraggiamento solare medio sul pannello

La potenza utile resa dal sistema fotovoltaico rappresenta la massima potenza disponibile in corrente alternata che l'impianto può immettere in rete e tiene conto delle perdite del sistema dovuto al discostarsi dalle condizioni standard e alla trasformazione della corrente da continua in alternata.

#### - PERDITE PER MISMATCHING

Le perdite per mismatching tra le stringhe sono dovute alla non uniformità di prestazioni elettriche fornite dai vari moduli che compongono ogni stringa fotovoltaica e quindi tra una stringa e l'altra. Il risultato è che non si riesce a sfruttare completamente la potenza di targa.



Per contenere questo tipo di perdita si provvede, prima della messa in opera, a misurare i parametri elettrici di ciascun modulo e a suddividere gli stessi in modo tale da realizzare stringhe con moduli aventi corrente omogenea.

- **PERDITE PER IRRAGGIAMENTO NON CAPTATO**

Le perdite per irraggiamento non captato comprendono la riflessione e il possibile ombreggiamento.

- **PERDITE NELL'IMPIANTO CORRENTE CONTINUA**

La potenza viene dissipata per effetto joule sui cavi di collegamento del sistema.

- **PERDITE NEL SISTEMA DI CONVERSIONE CC/CA**

Una quota di potenza viene persa a causa del rendimento non unitario dell'inverter.

- **PERDITE IN CORRENTE ALTERNATA FINO AL CONTATORE DI ENERGIA PRODOTTA**

Il sistema in corrente alternata, che comprende cavi, quadri, filtri, trasformatori.

Considerando quindi la somma delle perdite si può stimare un rendimento complessivo:

$$\eta_{TOT} = 0,7909$$

### **Calcolo dell'energia prodotta**

Il calcolo dell'energia prodotta garantita deriva dalla seguente formula:

$$E = P_G * \eta_{TOT} * h_{id}$$

ove:

- $E$  è l'energia prodotta al termine del primo anno a partire dalla data di messa in servizio (attivazione del contatore di produzione);
- $\eta_{TOT}$  è il valore del rendimento complessivo dell'impianto;
- $h_{id}$  è il valore delle ore equivalenti ideali di funzionamento.

Risulta quindi la seguente producibilità annua:

$$E = P_G * \eta_{TOT} * h_{id} = 194,205 * 0,7909 * 1435 = 220.411 \text{ kW}$$

La producibilità complessiva annua dell'impianto fotovoltaico risulta pari a: 220.411 kWh.

### **Aspetti ambientali**

Dal punto di vista ambientale si tenga presente che ogni kWh prodotto con fonte fotovoltaica evita di bruciare 0,25 kg di petrolio e consente di evitare l'emissione nell'atmosfera di 0,3 - 0,7 kg di CO<sub>2</sub> (gas responsabile dell'effetto serra, prodotto con la tradizionale produzione termoelettrica che, in Italia, rappresenta l'80% circa della generazione elettrica nazionale).

## **5. CARATTERISTICHE TECNICHE**

### **Disposizione dei moduli fotovoltaici e descrizione del campo fotovoltaico**

#### **Caratteristiche tecniche del modulo JA Solar tipo JAM72D40 605/MB:**

Potenza di picco: 605 Wp

Tolleranza rispetto alla P<sub>max</sub>: 0/+3%

Tensione al punto di massima potenza: 45,05 V

Corrente al punto di massima potenza: 13,43 A

Corrente di corto circuito: 14.09 A

Tensione a circuito aperto: 53.00 V

NOCT: 45 °C

Dimensioni: 2278 x 1134 x 30 mm

Peso: 31,8 kg IP68

Classe di reazione al fuoco I

Modulo rispettante i requisiti della norma CEI-EN 61215.

#### **Caratteristiche del campo fotovoltaico**

L'impianto fotovoltaico è costituito da 4 inverter che raccolgono l'energia prodotta dai 321 moduli fotovoltaici, suddivisi in stringhe (singole o in parallelo) composte dai 11 ai 16 moduli.

La tensione ai capi di ogni stringa è funzione delle caratteristiche elettriche dei moduli fotovoltaici utilizzati e dal numero dei moduli collegati in serie.

Per il collegamento in serie dei moduli fotovoltaici, considerando il luogo di posa esterno, si opta per un cavo tipo solare per applicazioni fotovoltaiche in corrente continua con  $U_0/U = 0,9/1,5$  (0,6/1kV, in corrente alternata) con temperatura massima di funzionamento 120 °C.

Il collegamento tra i moduli e in cavo “solare”, predisposto dal costruttore degli stessi moduli.

I moduli adottati nell'impianto in oggetto sono dotati di connettore Multi-Contact (definiti MC-plug), l'utilizzo di queste connessioni favorisce, in fase realizzativa, i collegamenti in serie in modo efficace e rapido, oltre ad avere un'ottima tenuta meccanica della connessione.

### **Descrizione tecnica degli inverter**

La produzione energetica del campo fotovoltaico è gestita in fase di conversione DC/AC da 4 inverter, delle seguenti tipologie.

#### **Caratteristiche tecniche dell'inverter SMA STP50-40/41:**

##### *Ingresso dal solare lato d.c.:*

Tensione di  $U_{mppmin}$ : 150 V

Tensione massima di sistema  $U_{oc}$ : 1000 V

Corrente massima: 120 A

N.6 MPPT indipendenti

Range di tensione del MPPT: 500 – 800 Vdc

##### *Uscita verso la rete lato a.c.:*

Tensione nominale: 400 V trifase.

Potenza nominale: 50

Corrente nominale: 72,5 A

Frequenza: 50 Hz.

Fattore di potenza: 1

Rendimento europeo: 97,8%

### **Quadro di interfaccia**

In uscita dagli inverter sono previsti, a valle dei gruppi di Misura dell'energia prodotta (M2), i Dispositivi di Interfaccia (DDI) e la protezione di interfaccia (PI), in conformità alla Norma CEI 0-16.

Il collegamento fra inverter - Gruppo di misura e da questo al quadro di interfaccia è in cavo tipo FG16M16 0,6/1kV.

All'esterno dell'edificio sarà prevista la cartellonistica di segnalazione ai sensi delle normative VVF, mentre per lo sgancio dell'impianto fotovoltaico sarà utilizzato il pulsante di sgancio esistente in quanto gli inverter sono posizionati esternamente al compartimento antincendio.

## **6. PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI**

Si attuerà la protezione contro i contatti diretti ponendo in essere tutte quelle misure e accorgimenti idonei a proteggere le persone dal contatto con le parti attive di un circuito elettrico.

Le misure di protezione totali sono destinate alla protezione di personale non addestrato e saranno ottenute mediante:

### **• Isolamento delle parti attive**

- Installazione di parti attive ricoperte completamente con isolamento che può essere rimosso solo a mezzo di distruzione;
- Installazione di altri componenti elettrici provvisti di isolamento resistente alle azioni meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere soggetto nell'esercizio.

### **• Involucri o barriere**

- Installazione di parti attive contenute entro involucri o dietro barriere con grado di protezione almeno IP2X o IPXXB;
- Installazione di superfici orizzontali delle barriere o involucri a portata di mano, con grado di protezione almeno IP4X o IPXXD;

- Installazione di involucri o barriere saldamente fissati in modo da garantire, nelle condizioni di servizio prevedibili, la protezione nel tempo;
- Installazione di barriere o involucri devono poter essere rimossi o aperti solo con l'uso di una chiave o di un attrezzo speciale;
- il ripristino dell'alimentazione è possibile solo dopo sostituzione o richiusura delle barriere o degli involucri.

### **Protezione contro i contatti indiretti**

La protezione contro i contatti indiretti è effettuata come prescritto dalla norma CEI 64.8.

Vista la presenza della separazione galvanica grazie al trasformatore, il campo PV è gestito come un sistema IT. Infatti non è consigliabile gestirlo come sistema TT o TN in quanto non è possibile adottare lo schema di protezione contro i contatti indiretti per interruzione dell'alimentazione perché le correnti di guasto, come visto precedentemente, sono limitate e quindi non sufficienti a garantire l'intervento delle protezioni. Si ricorda che i criteri di protezione dei sistemi TT e TN sono basati sul concetto di rendere più elevate possibili le correnti di guasto per far intervenire in tempi brevi le protezioni che interrompono il circuito.

Per la protezione contro i contatti indiretti la norma CEI 64-8 prevede l'utilizzo di un controllo dell'isolamento che in questo caso è integrato nelle protezioni previste dagli inverter.

Nel sistema oggetto della presente relazione sono comunque utilizzati, nella maggioranza dei casi, componenti di classe II, il che rende molto difficile un guasto verso terra.

Sul quadro servizi la protezione è realizzata con interruttori magnetotermici differenziali coordinati con l'impianto di terra.

### **Protezione contro le atmosfere esplosive**

Nella fase operativa, prima di iniziare le installazioni, a carico dell'Appaltatore, devono essere verificate le eventuali presenze di zone con pericolo di esplosione (Atex), che possono interferire con la presenza di impianti fotovoltaici, a causa del rischio elettrico.

### **Impianto di terra**

Il sito è dotato di un unico impianto di terra generale.

I quadri e gli inverter dell'impianto fotovoltaico saranno collegati all'impianto di messa a terra per permettere il funzionamento del dispositivo di controllo dell'inverter e per il collegamento degli scaricatori di sovratensione lato corrente continua.

*Ravenna, lì Settembre 2025*

Il tecnico