

Progettazione e realizzazione di impianti di energia rinnovabile per la Città di Betlemme

Design and installation of RES-based plants in the City of Bethlehem

FEDERICO STIRANO, GUIDO ZANZOTTERA

Abstract

La sostenibilità energetica è uno degli aspetti chiave per lo sviluppo di un territorio, soprattutto nelle aree che dipendono fortemente dalle importazioni. Una possibile soluzione è rappresentata dall'uso di fonti energetiche rinnovabili, in particolare pannelli solari fotovoltaici, specialmente nelle aree caratterizzate da un forte irraggiamento. Gli enti pubblici possono rappresentare un esempio virtuoso per i cittadini per creare consapevolezza e promuovere le energie rinnovabili. Per definire i requisiti tecnici da includere nelle gare d'appalto è necessario analizzare il contesto territoriale, identificando la configurazione migliore per massimizzare la resa degli impianti. Questo articolo descrive come il progetto *NUR* ha supportato la Municipalità di Betlemme nella redazione dei capitolati tecnici e nella valutazione tecnica delle offerte ricevute.

Energy sustainability is one of the key factors to promote local development, especially in the areas that strongly depend on energy import. Using Renewable Energy Sources, particularly photovoltaic solar panels in areas characterized by a strong radiation, is a possible solution. Public Bodies can represent as a virtuous example to raise awareness among the population and promote the diffusion of the RES. In order to define the technical requirements for the tenders, a detailed analysis of the territorial context is required to identify the best configuration able to maximise the energy production. This paper describes how the project NUR (New Urban Resources) supported the Municipality of Bethlehem in preparing the tender documents and evaluating the received offers from a technical point of view.

Introduzione

La Città di Betlemme è localizzata in Cisgiordania, un'area caratterizzata da un forte irraggiamento durante tutto il corso dell'anno. Pertanto, l'installazione di pannelli fotovoltaici rappresenta un'opzione molto allettante per incrementare la quota di produzione energetica locale, ad un costo inferiore rispetto all'utilizzo di centrali a combustibili fossili o all'acquisto dell'energia dall'esterno (es. da Israele). Infatti, è necessario solo un investimento iniziale per l'installazione degli impianti, mentre i costi ricorrenti sono relativi solamente alla manutenzione, in quanto il "carburante" (il sole, nel caso dei pannelli fotovoltaici) è gratuito. Inoltre, la JDECo¹ permette di sottoscrivere accordi basati su meccanismi simili allo "scambio sul posto" adottato in Italia² utilizzando la rete come sistema di accumulo virtuale. In pratica, il surplus di energia generato durante il giorno e non consumato al momento è ceduto alla rete ed è "virtualmente" restituito all'utente nei momenti in cui la produzione è inferiore alla richiesta (ad esempio durante le ore notturne).

Federico Stirano, laureato in Ingegneria delle Telecomunicazioni, è ricercatore senior presso la Fondazione LINKS.

federico.stirano@linksfoundation.com

Guido Zanzottera, ingegnere energetico, LEED AP, BREEAM AP, è progettista senior presso Ai Engineering s.r.l.

gzanzottera@aigroup.it

Il progetto *NUR*³ (*New Urban Resources*) si è posto come obiettivo la riduzione dei costi della fornitura energetica del Comune di Betlemme attraverso, da un lato, la realizzazione di impianti fotovoltaici su aree comunali e, dall'altro lato, la riduzione dei consumi di parte dell'illuminazione pubblica stradale attraverso la sostituzione degli apparecchi illuminanti con lampade a maggiore efficienza. Partendo da uno studio del contesto locale anche dal punto di vista normativo, il progetto *NUR* ha fornito un pieno supporto al Comune di Betlemme nella definizione di un capitolato di gara per la realizzazione delle opere richieste (installazione impianti e sostituzione punti luce). Inoltre, è stato fornito un supporto tecnico nella valutazione delle offerte in modo che la Commissione Comunale avesse tutti gli strumenti per poter selezionare le migliori offerte tra quelle pervenute.

1. Progettazione preliminare

Il primo passo per progettare e dimensionare nel modo corretto impianti a fonte rinnovabile, come quelli basati su pannelli fotovoltaici, è procedere a un'analisi del contesto operativo, attraverso la quale individuare, sulla base dei consumi pregressi, il fabbisogno energetico dell'utenza alla quale il nuovo impianto sarà collegato e valutare i vincoli normativi e di connessione che l'impianto deve rispettare per poter essere autorizzato a funzionare.

Il progetto *NUR* ha previsto la realizzazione di impianti fotovoltaici su edifici di proprietà comunale, identificando il tetto della Bus Station come il luogo su cui installare un impianto di grandi dimensioni. Inoltre, sono stati previsti impianti aggiuntivi di taglia inferiore per "simulare" contesti applicativi differenti: residenziale, strutture educative ecc.

Sulla base degli spazi a disposizione, delle risorse disponibili e delle analisi relative alla connessione e al dimensionamento degli impianti (vedi paragrafi 1.2 e 1.3) sono stati previsti due lotti di lavori. Il primo lotto ha comportato la realizzazione di un impianto da 145 kWp sul tetto della Bus Station, un impianto da 9 kWp sul tetto degli spogliatoi del campo sportivo Davide Astori (che serve un polo di istituti scolastici nel centro città) e un impianto da 14 kWp sul tetto dell'Engineering Department, suddiviso in due installazioni. In un secondo lotto di lavori è stato esteso l'impianto sul tetto della Bus Station fino a raggiungere una potenza di picco pari a 285 kWp, prevedendo di realizzare inoltre un impianto da 62 kWp a copertura del tetto del Peace Center e di installare una mini-turbina eolica per testare ulteriori possibilità di utilizzo di fonti rinnovabili con differenziazione del mix energetico.

1.1. Requisiti di connessione

Il settore degli impianti fotovoltaici è un ambito in piena espansione sul territorio palestinese e negli ultimi anni si è reso necessario definire regole di connessione alla rete di distribuzione per poter gestire in modo opportuno la potenza elettrica introdotta nel sistema elettrico. La PEA

(*Palestinian Energy Authority*) è l'ente deputato a livello nazionale per la definizione e la regolazione del mercato. Tuttavia l'evoluzione molto rapida del mercato elettrico e la necessità di una transizione verso la generazione da fonti rinnovabili hanno spinto le società di distribuzione a definire le proprie regole di connessione senza attendere le regole nazionali. Su questo elemento, la JDECo è stata la compagnia trainante e le altre società di distribuzione presenti in Palestina hanno basato le proprie regole su quelle da essa definite.

In particolare, JDECo ha stabilito tre requisiti principali per l'installazione di un sistema fotovoltaico:

- l'utente deve già avere una connessione con JDECo senza debiti pregressi;
- il sistema fotovoltaico deve alimentare una sola utenza;
- la produzione annuale⁴ del sistema fotovoltaico non deve superare il 110% del consumo annuale dell'utenza servita.

Nel caso del progetto *NUR*, i tre requisiti sono stati soddisfatti in quanto JDECo considera tutte le utenze fisiche del Comune come un'unica utenza, garantendo quindi che la produzione del sistema fotovoltaico nel suo complesso sia superiore. Inoltre, tutta l'energia prodotta è utilizzata per ridurre i consumi pubblici comunali.

1.2. Dimensionamento degli impianti

Attraverso l'utilizzo di alcuni strumenti software, è possibile stimare la produzione di un impianto fotovoltaico. Uno degli strumenti più utilizzati è il sistema PVGIS⁵, messo a disposizione dall'Unione Europea. Una volta impostate le coordinate del luogo nel quale si intende installare l'impianto, lo strumento è in grado di fornire informazioni utili per la progettazione al variare di alcuni parametri, tra cui l'angolo di tilt e di orientamento dei pannelli (azimut). Modificando i parametri, si possono simulare differenti configurazioni di progetto e identificare quella che consente di ottenere i risultati migliori in base alle esigenze finali dell'utente (ad esempio, i suoi consumi) e all'energia generata dal sistema.

Un altro aspetto importante da considerare durante la fase di progettazione riguarda il posizionamento dei pannelli considerando lo spazio disponibile e i fenomeni di ombreggiamento. Nelle zone d'ombra si verifica infatti una forte riduzione della generazione di energia dovuta alla mancata irradiazione solare diretta. L'ombra può essere generata da elementi naturali o architettonici ubicati nelle vicinanze (alberi, palazzi, muri ecc.) oppure dai pannelli stessi, quando posizionati troppo vicini tra loro.

1.3. Analisi delle configurazioni

Gli impianti installati sul tetto degli spogliatoi presso il campo di calcio intitolato a Davide Astori e quelli posizionati sul tetto dell'Engineering Department del Comune di Betlemme non hanno presentato particolari criticità dal punto di vista della progettazione. Nel primo caso non ci sono stati problemi di spazio vista la ridotta dimensione

dell'impianto (10 kWp), per cui si è potuto montare i pannelli secondo l'angolo di tilt ottimale (30° ca.), data la sufficiente disponibilità di spazio per poter distanziare i pannelli tra loro e non avere fenomeni di mutuo-ombreggiamento dei pannelli stessi. Nel secondo caso, i pannelli sono installati su strutture già esistenti in orizzontale.

Per l'impianto posizionato sul tetto della Bus Station, invece, sono state valutate tre diverse configurazioni possibili:

1. moduli rivolti a Est e a Ovest con un angolo di tilt (ottimale) pari a 30° (disposti a creare una serie continua di piani inclinati, così da "riempire" lo spazio);
2. moduli rivolti a Sud con un angolo di tilt pari a 30° (disposti in schiere distanziate le une dalle altre per evitare ombreggiamenti reciproci);
3. moduli posizionati orizzontalmente (angolo di tilt 0°).

In tutte le configurazioni è stato considerato lo spazio tra i pannelli per evitare mutuo-ombreggiamento e garantire la possibilità di manutenzione dell'impianto. Nella Tabella 1 è riportato il confronto fra le configurazioni ipotizzate, considerando uno spazio utile di installazione pari a 100 m².

Configurazione	1	2	3
Superficie impianto	84 m ²	76 m ²	88 m ²
Numero moduli	48	30	48
Produzione attesa	16.909 kWh	12.500 kWh	18.300 kWh
Densità potenza	143 W/m ²	99 W/m ²	136 W/m ²
Producibilità specifica	1.409 kWh/kW	1.667 kWh/kW	1.525 kWh/kW

Tabella 1. Confronto fra possibili configurazioni per l'impianto sul tetto della Bus Station.

I dati evidenziano come la producibilità specifica sia migliore nel caso della configurazione 2, visto l'utilizzo dell'orientamento e dell'angolo di tilt ottimale. Tuttavia, tale configurazione consente di installare un numero di pannelli molto inferiore rispetto alle altre configurazioni per evitare l'auto-ombreggiamento. Pertanto, la maggiore produzione totale di energia si ottiene con la terza configurazione, installando i pannelli in orizzontale sul tetto. Inoltre, questa configurazione permette di ridurre i costi di installazione, semplificando le strutture a sostegno dei pannelli.

2. Capitolati di gara

Sulla base dei risultati della progettazione preliminare e della valutazione di producibilità degli impianti, è stato possibile definire i capitolati di gara per identificare l'impresa

incaricata di svolgere l'installazione. I capitolati sono stati suddivisi in due macro-sezioni: una contenente i requisiti amministrativi per le imprese partecipanti alla gara, e una tecnica per definire i requisiti minimi che gli impianti proposti dalle imprese dovevano soddisfare. Il mancato rispetto dei requisiti indicati comportava l'esclusione dell'impresa dalla gara.

I requisiti amministrativi, definiti direttamente dal Comune di Betlemme che si è occupato di pubblicare il bando, sono dipesi dalla legislazione vigente al momento della gara. Dato che questo articolo ha lo scopo di concentrarsi sugli aspetti tecnici della progettazione e realizzazione degli impianti, essi non sono qui considerati.

2.1. Definizione requisiti tecnici di gara

Come accennato in precedenza i requisiti tecnici presenti nel bando derivavano dalla progettazione preliminare e dalla configurazione individuata, così da inserire vincoli di progettazione imprescindibili.

Nel caso del progetto *NUR* ne sono stati inseriti due. Il primo, riguardante gli impianti da realizzare sul tetto dell'Engineering Department, imponeva l'utilizzo delle strutture orizzontali preesistenti come supporto per gli impianti. Il secondo, riguardante l'apparato da realizzare sul tetto della Bus Station, richiedeva che i pannelli fotovoltaici fossero installati con un angolo di tilt pari a 0°. Questo limite di angolo, tuttavia, è stato innalzato a 10°, valore che consente di avere un fenomeno di mutuo-ombreggiamento limitato e allo stesso tempo di migliorare la manutenibilità dell'impianto (l'acqua per la pulizia dei pannelli può essere fatta scorrere senza problemi di stagnazione).

Oltre ai vincoli progettuali, il capitolato tecnico definiva anche le caratteristiche base dei materiali e dei componenti dell'impianto, in modo da garantire la qualità del lavoro. In particolare, sono state definite le caratteristiche minime dei pannelli, degli inverter, della struttura (in termini di materiale) e dei cavi utilizzati per il cablaggio.

Per poter verificare il rispetto di tutti i vincoli è stato richiesto alle aziende di fornire, in fase di gara, un progetto preliminare del singolo impianto e la lista dei componenti utilizzati, con relativi datasheet. Inoltre, l'impresa aggiudicataria avrebbe avuto l'onere di presentare il progetto definitivo entro un mese dalla firma del contratto, da sottoporre alla JEDCo in modo da rispettare tutte le regole tecniche di connessione alla rete (inclusi protezioni e monitoraggio). Infine, le imprese dovevano impegnarsi a fornire un'adeguata garanzia del materiale fornito, a includere nell'offerta un periodo di manutenzione di almeno 12 mesi e materiale di ricambio, oltre a rendersi disponibili a fornire addestramento ai tecnici comunali per la corretta gestione dell'impianto.

2.2. Valutazione tecnica delle offerte

Una volta ricevute le offerte dalle imprese, i partner tecnici del progetto *NUR* hanno composto una sottocommissione

per supportare il Comune di Betlemme nell'individuazione della migliore offerta per la realizzazione degli impianti. La sottocommissione tecnica ha preparato un documento di valutazione, utilizzato dalla Commissione Comunale come uno degli elementi utili per la decisione finale (insieme alla verifica dei requisiti amministrativi e alle valutazioni tecniche svolte direttamente dalla Commissione). Lo scopo finale del Comune di Betlemme era quello di identificare l'offerta migliore tenendo conto sia del fattore economico sia del fattore tecnico, senza limitarsi a selezionare l'offerta con il prezzo più basso.

La valutazione delle proposte operata dalla sottocommissione tecnica è stata dunque compiuta sulla base dei seguenti parametri:

- prezzo della soluzione;
- layout dell'impianto;
- diagramma unifilare delle connessioni elettriche;
- qualità e completezza della documentazione fornita;
- tempistica della fornitura;
- eventuali componenti aggiuntivi.

A ogni parametro è stato assegnato un peso, mentre ogni offerta ricevuta ha ottenuto un punteggio per le varie categorie. Combinando pesi e punteggi è stato possibile ottenere una graduatoria finale da sottoporre alla Commissione Comunale. L'ultima categoria è stata aggiunta per dare un premio "tecnico" alle aziende che avevano inserito elementi aggiuntivi nella proposta (ad esempio, un periodo di manutenzione più lungo del minimo richiesto).

Oltre all'indicazione del punteggio ottenuto, il documento di valutazione è stato corredato da un commento alle singole offerte, evidenziando i punti di forza e le potenziali debolezze di ogni soluzione, in modo che il Comune di Betlemme potesse richiedere eventuali chiarimenti alle imprese coinvolte, nel rispetto della legge palestinese.

3. Impianti

Come descritto nel paragrafo 1 la realizzazione degli impianti è stata suddivisa in due lotti. Il primo è stato collaudato nel dicembre 2019 ed è operativo. Il secondo lotto di lavori avrebbe dovuto concludersi nel corso del 2020. Tuttavia, la pandemia Covid19 e i conseguenti periodi di *lockdown* imposti anche a Betlemme hanno limitato le attività previste sul campo, portando ad uno slittamento dei tempi. Il nuovo termine per il collaudo dei lavori del secondo lotto è atteso durante il primo semestre del 2021.

3.1. Impianti realizzati

Le Figure 1, 2 e 3 illustrano gli impianti realizzati durante il primo lotto. La Figura 1 mostra l'impianto realizzato sul tetto della Bus Station, la Figura 2 mostra una delle due installazioni dell'impianto montato sul tetto dell'Engineering Department del Comune di Betlemme, mentre la Figura 3 mostra l'apparato allestito sul tetto degli spogliatoi del campo sportivo intitolato a Davide Astori.



Figura 1. Impianto fotovoltaico sul tetto della Bus Station.



Figura 2. Impianto fotovoltaico sul tetto dell'Engineering Department.



Figura 3. Impianto fotovoltaico presso il campo sportivo Davide Astori.

3.2. Dati di produzione

Gli impianti già installati hanno registrato, nella maggior parte dei casi, una produzione di energia annua in linea con le attese. La Tabella 2 contiene un riassunto della produzione ottenuta in tutto il 2020 dagli impianti del primo lotto. Come si può notare, soltanto l'impianto posizionato sul tetto dell'Engineering Department ha avuto una produzione ridotta rispetto alle attese. Nel marzo 2020 si è verificato un problema tecnico che si è potuto risolvere solo a fine maggio 2020 a causa delle restrizioni imposte dalla pandemia legata al Covid19, che non hanno consentito di effettuare interventi di manutenzione, lasciando l'impianto temporaneamente fuori servizio.

Impianto	Produzione annua attesa	Produzione annua reale	Rapporto
Bus Station	221.844 kWh	219.000 kWh	98,7%
Engineering Department	22.200 kWh	14.700 kWh	66,0%
Campo Davide Astori	10.044 kWh	9.980 kWh	99,4%

Tabella 2. Produzione degli impianti fotovoltaici.

Sulla base di questi dati, JDECo ha stimato un risparmio annuo di 44.000 ILS (equivalenti a circa 12.000 euro) nel primo semestre di funzionamento. Poiché il primo semestre ha anche evidenziato il malfunzionamento dell'impianto sull'Engineering Department successivamente risolto, è lecito stimare il risparmio annuale in oltre 100.000 ILS. Inoltre, poiché parte dei costi per l'illuminazione pubblica della città di Betlemme è ripartita fra la popolazione, si stima che ogni utente abbia potuto ridurre questa quota di circa il 10%.

Conclusioni

L'installazione di impianti per la generazione di elettricità da fonti rinnovabili rappresenta uno degli aspetti più importanti per garantire la sostenibilità energetica nelle città del futuro. Ciò è ancora più vero se si considera l'area palestinese, caratterizzata da un alto livello di irraggiamento, dove il fotovoltaico può rappresentare una soluzione per ridurre la dipendenza energetica da fonti esterne, creare opportunità

di sviluppo e permettere la transizione energetica verso sistemi a ridotto impatto ambientale.

Il progetto *NUR* ha permesso di supportare il Comune di Betlemme nella realizzazione di alcuni impianti che potessero rappresentare un esempio di pratica virtuosa per la popolazione e dimostrare i vantaggi anche economici di tale soluzione. Partendo da una progettazione preliminare e costruendo opportuni capitolati di gara, è stato possibile installare tre impianti su edifici pubblici (più altri due in fase di completamento) con un tangibile risparmio sulla bolletta energetica sia direttamente del Comune sia di ogni singolo utente.

I prossimi passi per un ulteriore sviluppo del settore fotovoltaico sul territorio possono essere rappresentati perciò dalla creazione di strumenti in grado di supportare anche i cittadini privati nel percorso di transizione verso la generazione da fonte rinnovabile.

Note

¹ JDECo – Jerusalem District Energy Company è la società elettrica locale che si occupa della rete di distribuzione nella Città di Betlemme.

² Delibera ARG/elt 74/08, *Testo Integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto (TISP)* e successive modificazioni; <https://www.arera.it/allegati/docs/08/074-08arg.pdf>.

³ Il progetto *NUR* è co-finanziato dall'AICS (Agenzia Italiana per la Cooperazione e lo Sviluppo) attraverso un bando dedicato agli enti locali ed è coordinato dalla Città di Torino.

⁴ In fase di progettazione, la produzione annuale è calcolata sulla base di 1.700 ore equivalenti annue.

⁵ PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) è visualizzabile al link: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en.