

CSP "tascabile": un'esperienza italiana



LA POLI-GENERAZIONE ATTRAVERSO IMPIANTI CSP A PICCOLA SCALA INSTALLATI IN AMBITO URBANO È UNA REALTÀ MOLTO PROMETTENTE SOPRATTUTTO NELL'AREA DEL MEDITERRANEO: ECCO UN INTERESSANTE ESEMPIO REALIZZATO PRESSO L'UNIVERSITÀ DI PALERMO.

Finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del programma ENPI CBCMED, il progetto STS-Med ha portato alla costruzione di quattro impianti solari CSP (Concentrated Solar Power) di tipo poli-generativo, ovvero capaci di fornire energia elettrica, termica e frigorifera per molteplici usi.

Caratterizzati da un concept innovativo e dall'impiego di tecnologie evolute, ad esempio per lo stoccaggio del fluido termovettore primario, gli impianti sono stati tutti recentemente completati e operano al servizio di edifici pubblici situati in Italia (Università degli Studi di Palermo), Cipro (The Cyprus Institute, Nicosia), Egitto (Sekem Medical Center, Cairo) e Giordania (Al-Balqa' Applied University, Irbid).

Il progetto ha affrontato e risolto le principali sfide tecnico-progettuali poste dall'impiego di questi sistemi in contesti urbani, fra cui:

- correlazione fra il fabbisogno energetico degli edifici serviti, legato alle rispettive modalità d'uso, e le caratteristiche dell'impianto, alimentato da fonte solare;
- elevato costo dei componenti, prodotti generalmente per applicazioni in impianti di grande taglia, e relativa scarsa o nulla disponibilità sul mercato di alcuni di essi, non ancora prodotti a livello industriale;
- minimizzazione dell'impatto ambientale, in particolare di quello visivo.

Obiettivi e tecnologie

Filippo Paredes è direttore tecnico del Consorzio ARCA, project leader dell'iniziativa: «Il progetto STS-Med nasce dall'esigenza di diffondere tecnologie innovative e sensibilizzare le comunità locali sulle potenzialità



L'ING. FILIPPO PAREDES,
CONSORZIO ARCA.

(nella pagina a fianco) Situato all'interno del Parco d'Orleans, il campo solare CLFR è caratterizzato da un concept semplice e modulare, sviluppato per generare una risposta equilibrata alla domanda energetica dell'edificio (Consorzio ARCA).

(qui sopra) Il campo è formato da 3 stringhe di collettori Fresnel disposte lungo l'asse nord-sud, ciascuna articolata in 7 moduli composti da 18 file di specchi, leggermente concavi e rivestiti con un coating in argento (Consorzio ARCA).

del solare a concentrazione, per soddisfare il fabbisogno energetico di edifici pubblici. Ciò ha richiesto di ridurre le dimensioni e, di conseguenza, l'impatto degli impianti CSP, per conseguire principalmente i seguenti obiettivi:

- attraverso il downscaling delle tecnologie esistenti, facilitarne l'installazione in contesti urbani allo scopo di far coincidere il sito di produzione dell'energia elettrica e termica alle utenze interessate;
- consentire l'utilizzo dell'energia per applicazioni civili (produzione di energia elettrica, climatizzazione invernale ed estiva degli edifici) e industriali (ad esempio: calore di processo o dissalazione dell'acqua) in modo da ottimizzare le sinergie.

Quando il progetto fu attivato decidemmo di focalizzare l'attenzione sulla tecnologia CLFR poiché - rispetto agli altri sistemi CSP - pur essendo meno maturo dal punto di vista commerciale - e perciò potenzialmente più interessante sotto il profilo della ricerca scientifica e del potenziale di sviluppo - avrebbe consentito una più efficace applicazione dei collettori in contesti urbani.

Questa scelta si è poi rivelata azzeccata, in quanto questo tipo di collettore risulta più semplice per quanto concerne la produzione dei

componenti, la loro installazione e la loro gestione in fase d'esercizio, ed è sicuramente meno impattante degli altri dal punto di vista costruttivo. L'impianto poligenerativo di Palermo, in particolare, ha una prevalente vocazione didattica ma, oltre a produrre elettricità ed energia termica e frigorifera per la sede ARCA situata all'interno del Campus Universitario, è già in grado di fornire una serie di importanti informazioni sia sul dispositivo di concentrazione solare, sia sui sistemi di accumulo e di trasformazione dell'energia».

Quali sono le innovazioni più importanti rispetto ad altri impianti di questo genere?

«L'accumulatore termocline a sali fusi è il primo nel suo genere. Normalmente gli impianti CSP dispongono di due dispositivi di stoccaggio a sali: uno "caldo" per raccolta del fluido proveniente dal campo solare, l'altro "freddo" per l'accumulo del fluido a valle dei processi di produzione energetica, perciò da reimmettere nel campo.

Nel nostro caso, invece, in collaborazione con ENEA è stato sviluppato un unico accumulatore a stratificazione di sali fusi - che funziona perciò

I PROTAGONISTI DELL'IMPIANTO

Project leader

Consorzio ARCA

Responsabile del progetto

Fabio Maria Montagnino

General contractor

Sie Impianti

I fornitori

Tubi ricevitori: Archimede Solar Energy

Elettropompe: Travaini

Stoccaggio/espansione: Arca

Accumulo termocline: Enea - Arca

Turbina ORC: Rank

Torre di evaporazione: Mita

Assorbitore: Broad

Tracking systemw: Arca

PLC: Siemens



secondo lo stesso principio dei serbatoi di stoccaggio dell'acqua di processo comunemente impiegati negli impianti di climatizzazione. Rispetto al sistema tradizionale a doppio serbatoio, questa tecnologia permette interessanti economie sotto il profilo costruttivo e soprattutto gestionale. Dimensionando opportunamente il campo e l'accumulo, è infatti possibile produrre energia elettrica e termica sull'intero arco delle 24 ore, perciò anche durante la notte».

L'edificio e i consumi

Il dimensionamento dell'impianto CLFR è stato eseguito sulla base di un audit energetico con caratterizzazione dei carichi.

La sede del Consorzio ARCA occupa attualmente una superficie di circa 1.500 m² e ospita 14 start up aziendali per un totale di oltre 50 persone, più uno spazio per il co-working, laboratori di elettronica e di meccanica, sale riunioni e conferenze, uffici amministrativi, locale plotter, cucina e servizi igienici. È inoltre stato recentemente integrato un ampliamento di circa 200 m² (non contemplato nell'audit energetico) destinato a un workshop fab-lab.

Gli impianti di climatizzazione sono attestati su una centrale termofrigorifera che alimenta un impianto di ventilazione (ricambio 6 vol/h) e a dispositivi autonomi a pompa di calore. Tre boiler elettrici (5,6 kWp) provvedono alla produzione dell'acqua calda sanitaria.

In media, durante il giorno sono attivi contemporaneamente circa 50 fra pc e workstation, con un carico elettrico di punta superiore a 12 kW. L'impianto di illuminazione è costituito da circa 200 lampade fluorescenti (16 kW totali) accese per circa 10 ore al giorno.



(in alto) Lungo la focale lineare, il tubo collettore sottovuoto è attraversato da olio diatermico che, alla temperatura operativa di 270 °C, rifornisce l'accumulo termocline a sali fusi producendo 310 MWh all'anno (Consorzio ARCA).

(a lato) L'accumulatore principale (8 m³) è ottimizzato per temperature di esercizio medio-basse: si tratta di un innovativo dispositivo di stoccaggio a stratificazione, con capacità termica di 400 kWh (Consorzio ARCA).

Cos'è STS-Med

Acronimo per "Small scale Thermal Solar district units for Mediterranean communities", il progetto si concentra sullo sviluppo, l'implementazione e la diffusione di tecnologie all'avanguardia per migliorare l'efficienza energetica negli edifici pubblici.

Finanziato dalla Commissione Europea con quasi 5 milioni di euro nell'ambito del programma ENPI CBCMed (European Neighbourhood Policy and of its financing Instrument - Cross-Border Cooperation in Mediterranean Sea Basin), il progetto ha implementato 4 impianti CSP al servizio del fabbisogno energetico di circa 20.000 utenti, provenienti da 20 comunità locali, per una potenza complessiva di circa 400 kW.

Il partenariato del progetto è composto da 14 organizzazioni provenienti da:

- Italia (Consorzio ARCA, ENEA, Regione Siciliana);
- Cipro (Camera Cipriota del Commercio e dell'Industria, The Cyprus Institute);

Negli ultimi 3 anni il consumo medio annuo complessivo è stato pari a circa 140 MWh.

La simulazione dei carichi termofrigoriferi ed elettrici è stata effettuata secondo le seguenti ipotesi:

- efficienza media mensile delle pompe di calore (COP), regolazione e distribuzione di sistemi HVAC;
- fattore di contemporaneità media giornaliera per i pc, sistema di illuminazione e produzione di a.c.s.;
- periodo di consumo pari a 10 ore per 5 giorni di lavoro settimanale, con 20 giorni di vacanze estive e 10 giorni di vacanze invernali.

I risultati della simulazione hanno evidenziato che la domanda energetica per la climatizzazione è responsabile di gran parte del consumo di energia elettrica (raffrescamento 33%; riscaldamento 25%), seguita dall'illuminazione artificiale (28%), dal computing (10%), da altre tipologie di consumi (2%) e dalla produzione di a.c.s. (1%).

L'impianto solare

L'impianto realizzato presso l'Università di Palermo è situato all'interno del Parco d'Orleans – una delle aree verdi interne al tessuto urbano, attorno alla quale si sviluppano gli edifici accademici – ed è al servizio della sede del Consorzio ARCA.

Si tratta di un impianto del tipo Compact Linear Fresnel Reflector (CLFR), caratterizzato da un concept semplice - dal punto di vista produttivo e costruttivo - e modulare - perciò scalabile a seconda delle necessità - sviluppato per generare una risposta equilibrata alla domanda energetica dell'edificio.

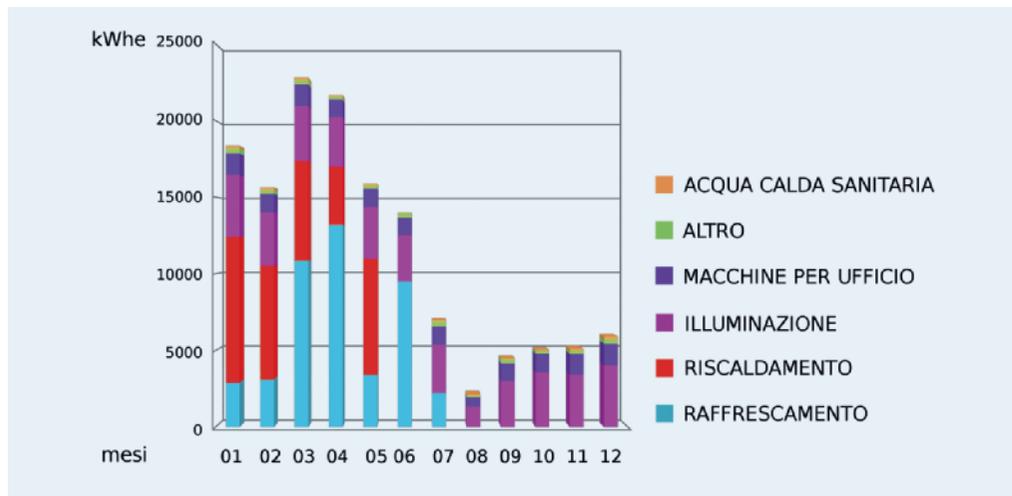
(in alto) La turbina ORC (10 kW_e) presenta un'efficienza di conversione netta del 10% e una producibilità di 20.000 kWh elettrici annui: lavora a 200 °C, ingresso) e 165 °C, uscita (Consorzio ARCA).

(a lato) Il gruppo frigorifero ad assorbimento a doppio effetto (23 kW) utilizza fluido a temperature di 195 °C (ingresso) e 165 °C (uscita) e produce acqua a 7 °C per la climatizzazione estiva (Consorzio ARCA).

- Egitto (Accademia per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Elsewedy Electric, Autorità per l'Energia Nuova e Rinnovabile);
- Francia (CEEI – Provence, CEA);
- Giordania (Ministero dell'Energia e delle Risorse Minerarie, Università Al Balqa, Millenium - Energy Industries);
- Grecia (Università di Atene).

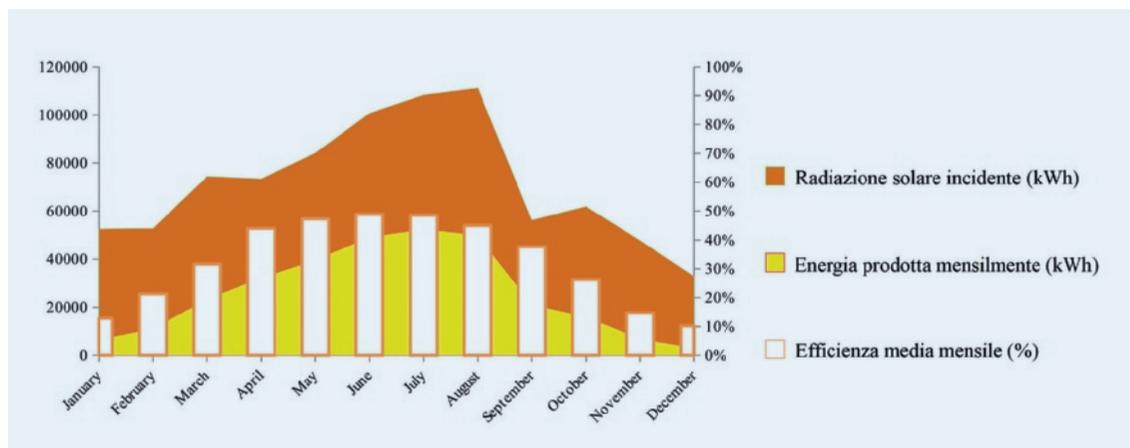
STS-Med ha creato nuove opportunità di business coinvolgendo oltre 700 fra piccole e medie imprese attive nelle catene di distribuzione locali per la produzione dell'energia solare, generata dagli impianti realizzati. L'implementazione è stata supportata da studi sull'impatto economico e sulle strategie politiche, comprese le raccomandazioni sulla regolamentazione, gli incentivi fiscali e gli aspetti relativi agli appalti pubblici innovativi. Inoltre, attraverso sessioni di formazione tecnica e visite agli impianti, sono stati aggiornati sui sistemi CSP circa un migliaio fra professionisti ed esperti nel settore energetico e oltre 200 tra gestori e manager di strutture pubbliche.





Il consumo di energia elettrica mensile nella sede del Consorzio ARCA, con la distribuzione della domanda: circa il 60% dei consumi elettrici è appannaggio dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento (L. Venezia, F. M. Montagnino, S. Kiwan, F. Paredes, R. Damseh).

Irraggiamento solare mensile incidente raccolto dal campo solare CLFR e medie mensili percentuali (in kWh): l'efficienza media è pari al 8% su base annua (L. Venezia, F. M. Montagnino, S. Kiwan, F. Paredes, R. Damseh).



Chi è ARCA

Attivo dal 2003, come partenariato tra l'Università di Palermo e un gruppo imprenditoriale privato attivo nel campo della ricerca industriale e del trasferimento tecnologico, il Consorzio ARCA ha avviato nel 2005 un incubatore d'impresе che promuove e assiste iniziative imprenditoriali innovative.

Oltre all'ateneo palermitano i soci del consorzio – presieduto dal prof. Ing. Umberto La Commare e diretto dal dott. Fabio Montagnino – sono Easy - Integrazione di Sistemi e l'Associazione SinTeSi.

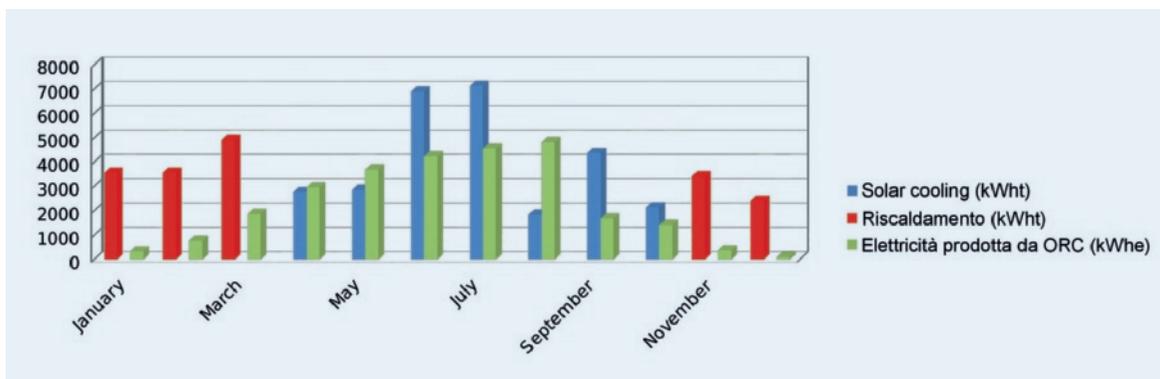
Situato all'interno del campus universitario, il consorzio opera in maniera complementare e integrata con le attività dell'incubatore, promuovendo programmi di ricerca industriale e trasferimento tecnologico destinati a piccole e medie imprese, reti e distretti produttivi, anche in programmi di cooperazione transnazionale e in iniziative di innovazione sociale. I settori tecnologici d'interesse sono connessi alla produzione scientifica e alle competenze presenti sul territorio siciliano, con riferimento a: energie rinnovabili, edilizia sostenibile, meccatronica, monitoraggio ambientale, sistemi GIS e telerilevamento, tecnologie digitali, gestione e valorizzazione dei beni culturali, biotecnologie e salute dell'uomo, tecnologie per l'ambiente marino e la nautica. Oltre a STS-Med, fra i progetti in corso si segnalano Invent (capacity building nelle università giordane), Zero-Plus (insediamenti abitativi a energia zero), TCBL (industria tessile) e Netkite (cooperazione transfrontaliera nel Mediterraneo).

Il campo occupa circa 2.000 m² ed è formato da 3 stringhe di collettori Fresnel disposte lungo l'asse nord-sud, ciascuna lunga complessivamente circa 28 m e articolata in 7 moduli (circa 470 m² di superficie captante complessiva). Ogni modulo è composto da 18 file di specchi in vetro, leggermente concavi e rivestiti con un coating in argento, per aumentarne la riflettanza primaria.

Il concept del campo è finalizzato alla flessibilità d'uso. Ciascuna delle stringhe funziona autonomamente rispetto alle altre, in modo da poter comparare il funzionamento sia delle diverse tecnologie di tracciamento solare utilizzate (precisione 0,1°, pari a circa 2 mrad), sia dei cinematici: due stringhe dispongono infatti di un unico attuatore per tutti gli specchi del modulo, l'altra è invece equipaggiata con motori singoli per ogni fila di specchi.

La radiazione solare è rilevata tramite piroeliometro e solarimetro: assieme a quelli della stazione meteo i dati sono elaborati da PLC (controllore logico programmabile) che orienta gli specchi, disposti in piano e sostenuti da una struttura metallica che li distacca dal terreno di circa 50 cm. Gli specchi sono vincolati ai sistemi di azionamento meccanico e, ruotando attorno al proprio asse longitudinale, concentrano i raggi lungo una focale lineare, composta da tubi sottovuoto e ribassata (circa 4 m d'altezza dal terreno) per contenerne l'impatto visivo. Il campo solare presenta una potenza di picco di 220 kWt e può produrre in un anno più di 310 MWh.

Il fluido termovettore primario è un olio diatermico ecologico (HTF): alla temperatura operativa di 270 °C, quest'ultimo viene raccolto in



Ripartizione mensile degli impieghi dell'energia prodotta dal sistema di poli-generazione, che evidenzia come questa soluzione permetta di integrare il fabbisogno elettrico e termico degli edifici tramite fonte solare (L. Venezia, F. M. Montagnino, S. Kiwan, F. Paredes, R. Damseh).

un piccolo serbatoio (0,8 m³) abbinato a un vaso d'espansione (0,5 m³) per gestire le fluttuazioni di temperatura dell'olio in uscita, che rifornisce l'accumulatore principale (8 m³), in grado di contenere 16,4 t di miscela ternaria di sali fusi (nitrate di Ca-K-Na), impiegata come fluido secondario.

Progettato in collaborazione con ENEA espressamente per l'applicazione in impianti CSP di scala medio-piccola e ottimizzato per temperature di esercizio medio-basse, l'accumulatore è del tipo termoclino: presenta una capacità termica di 400 kWh e lavora nell'intervallo termico di 160÷270 °C.

Il funzionamento dei circuiti dei fluidi termovettori è controllato da sensori di temperatura, pressione e flusso, che comandano 3 elettropompe a portata variabile con portate rispettivamente di:

- 22 m³/h (serbatoio/espansione – accumulo termoclino);
- 3,5 m³/h (accumulo termoclino – turbina ORC);
- 1,8 m³/h (accumulo termoclino – assorbitore).

Il sistema e i costi

L'energia accumulata è destinata a un duplice utilizzo:

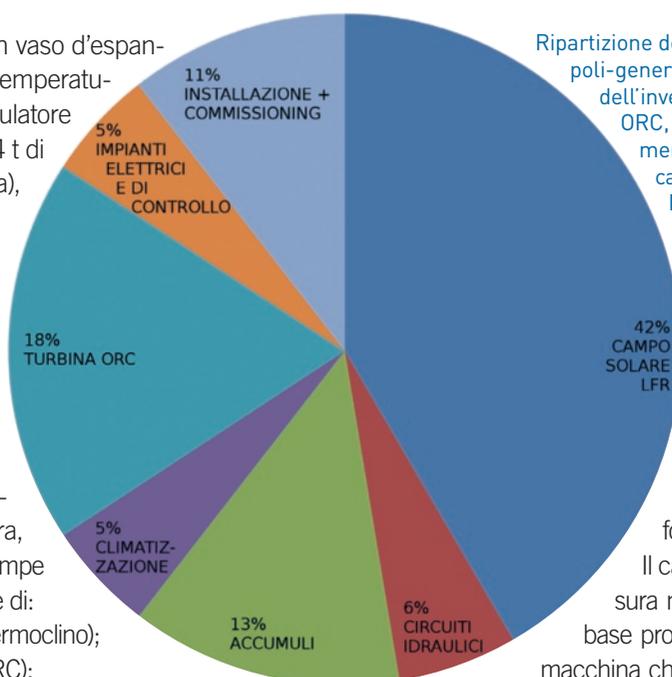
- per l'integrazione termica e frigorifera dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento della sede ARCA;

- per la produzione di energia elettrica, anch'essa al servizio dell'edificio.

Nel primo caso, l'integrazione avviene sia mediante uno scambiatore di calore, sia pilotando un gruppo frigorifero ad assorbimento (LiBr) del tipo a doppio effetto (23 kW; COP 1,1), collegati ai circuiti idronici esistenti. L'assorbitore utilizza fluido a temperature di 195 °C (ingresso) e 165 °C (uscita): produce acqua a 7 °C Il generatore a turbina Organic Rankine Cycle (10 kW), acquisito in collaborazione con una spin-off dell'Universitat de València, presenta un'efficienza di conversione netta del 10% e ha produzione stimata di 20.000 kWh elettrici annui: lavora con fluido R245fa a temperature di 200 °C (ingresso) e 165 °C (uscita) ed è abbinato a una torre di evaporazione (90 kW).

Sviluppato con tecnologie specifiche e progettato con strumenti e sistemi di controllo e monitoraggio sperimentali delle performance, l'impianto pilota è in grado di garantire una riduzione annua del 33% dei consumi elettrici dell'edificio servito.

I costi di investimento, che si stima possano essere sensibilmente ridot-



Ripartizione dei costi per il sistema poli-generativo: la maggior parte dell'investimento è legata alla turbina ORC, di difficile reperimento sul mercato, e alle peculiarità del campo solare (L. Venezia, F. M. Montagnino, S. Kiwan, F. Paredes, R. Damseh).

ti in fase di introduzione del sistema nel mercato, sono prossimi a quelli riscontrabili in altri impianti alimentati da fonti energetiche convenzionali.

Il campo solare - realizzato su misura nel rispetto dei criteri posti alla base progetto, e la turbina ORC – una macchina che per la specifica taglia sperimentale implementa offre una minore efficienza e

un maggior costo a causa della limitata diffusione sul mercato – costituiscono la parte preponderante dei costi d'investimento. La tabella 1 riporta i costi unitari dei singoli componenti/attività.

I risultati attesi

L'output del campo solare CLFR è stato simulato utilizzando il software TRNSYS, facendo riferimento ai dati meteorologici storici forniti dall'Istituto Nazionale di Astrofisica di Palermo, la cui stazione di misura è situata in un edificio prossimo al campus universitario. Il modello ha considerato anche il consumo energetico, termico ed elettrico, dell'impianto poli-generativo.

Il totale dell'energia solare raccolta annualmente è stato stimato in 310 MWh, con picchi mensili di efficienza del campo solare superiori al 40% fra i mesi di aprile e agosto (massimo: 49% in giugno e luglio) e minimo nel mese di dicembre (10%); il valore medio annuo di efficienza è del 38%.

Le simulazioni inerenti l'integrazione del fabbisogno termofrigorifero hanno evidenziato una copertura del 10% circa del fabbisogno totale, mentre la copertura dei consumi elettrici è pari a circa il 19% di quelli attuali, attribuibili per l'85% alla turbina ORC.

TAB.1 RIPARTIZIONE DEI COSTI.

Componenti - attività	Potenza/Capacità	Costi per unità di potenza/capacità (euro)	(%)
Campo solare	230 kW	687	41,6
Circuiti		96	5,8
Accumulo	400 kWh	125	13,2
Assorbitore	23 kWt	870	5,3
Turbina ORC	10 kWt	7.000	18,4
Sistema di controllo	230 kW	87	5,3
Installazione e Commissioning		174	10,5

TAB.2 STIMA DELL'ENERGIA E DEI RISPARMI ANNUALI OTTENIBILI IN UN ANNO.

Sottosistema	Output	Output termico	Risparmi (euro/anno)	"Feed in tariff" (0,36 euro/kWhe)	Risparmi totali (euro/anno)
Raffrescamento	27.991 kWt	27.991 kWt	3.000		3.000
Riscaldamento	17.894 kWt	17.894 kWt	1.888		1.888
Elettricità	26.770 kWel	267.703 kWt	6.693	9.637	16.330
Totale		313,588 kWt	11.581	9.637	21.218

Complessivamente la riduzione attesa della domanda di energia elettrica atteso è nell'ordine di 46 MWhe, con un risparmio energetico del 33%. Nonostante gli alti costi legati all'acquisto di alcune tecnologie innovative ed all'approccio sperimentale del sistema installato, il rapporto fra costi/benefici è pari a 0,72, dato che restituisce un'interessante prospettiva di sviluppo per i campi solari poli-generativi per applicazioni nei paesi dell'area mediterranea.

La tabella 2 riassume i dati di produzione energetica e i relativi risparmi.

Dal progetto alla produzione

Quali fattori hanno indirizzato le scelte progettuali?

«Per tutti e quattro gli impianti realizzati - riprende l'ing. Paredes - l'analisi dei consumi energetici di edifici pubblici ha mostrato un consumo per la climatizzazione di circa il 60% del fabbisogno energetico complessivo.

L'integrazione di impianti termodinamici poligenerativi nei contesti urbani risultava perciò particolarmente adatto rispetto agli obiettivi del progetto. Il campo solare di Palermo insiste all'interno di uno dei parchi più importanti della città, perciò in un ambito sensibile dal punto di vista paesaggistico.

Lo stesso vale per l'impianto poligenerativo con collettori Fresnel installato in Egitto presso l'oasi di Sekem, adibita alla produzione di colture biodinamiche e situata a circa 60 chilometri dal Cairo. Gli impianti poligenerativi installati al Cyprus Institute (Nicosia - Cipro) - collettori Fresnel - e Al Balqa' Applied University (Irbid - Giordania) - collettori parabolici - sono stati installati sulle superfici piane di copertura di edifici pubblici esistenti particolarmente esposte alla radiazione solare.

La selezione delle tecnologie è il risultato di uno scouting comune fra tutti i team di progettazione, perciò i vari campi solari presentano alcune affinità. Nonostante ciascun impianto sia stato appaltato separatamente dagli altri, i collettori solari Fresnel sono sostanzialmente simili fra loro, e sono stati installati da un'impresa siciliana che ha deciso di orientare il proprio business verso questi sistemi innovativi».

Quali sono le prospettive per lo sviluppo di questi sistemi?

«In generale, gli impianti realizzati sono proiettati verso applicazioni reali: risultano ideali per potenze elettriche inferiori ai 100 kW e per siti caratterizzati da lunghi periodi di soleggiamento e da elevate altezze solari, in quanto queste ultime massimizzano l'efficienza dei sistemi a inseguimento solare monoassiale. Si tratta inoltre di impianti sviluppati per facilitare l'attività di installazione, perciò idonei alla costruzione di competenze su base locale, che possono essere apprese da imprese non necessariamente specializzate. Il collettore solare a Nicosia è stato installato in quota, in circa 20 giorni, da una squadra di quattro persone allo loro prima esperienza, mentre l'impianto installato in Egitto è stato installato in circa 2 settimane da una squadra di tecnici ed operatori locali, senza una pregressa formazione specifica...

Questi impianti sono perciò i precursori di una nuova generazione di centrali solari che, come Consorzio ARCA, intendiamo promuovere per sensibilizzare le comunità locali sulle potenzialità del solare a concentrazione poligenerativo di piccola taglia e sul loro possibile utilizzo per soddisfare il fabbisogno energetico di edifici, nelle diverse regioni in cui sono stati installati gli impianti e più in generale nelle aree geografiche del bacino del Mediterraneo e del Medio Oriente. ■

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Ringraziamenti

Parti del presente articolo sono tratte e liberamente adattate da "Part A: Solar Polygeneration Plant in Italy", pubblicato in "GCREEDER 2016", Amman (Giordania), 4-6 aprile 2016.

Si ringraziano gli autori:

Ing. Luca Venezia - Consorzio Arca, Palermo

Dott. Fabio Maria Montagnino - Consorzio Arca, Palermo

Ing. Filippo Paredes - Consorzio Arca, Palermo

Prof. Suhil Kiwan - Jordan University of Science and Technology, Irbid (Giordania)

Prof. Rebhi A. Damseh. Damseh - Al Balqa' Applied University, Al Huson College, Irbid (Giordania)