

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

ELABORATO DI LAUREA

**SIMULAZIONE DINAMICA DI UN CHILLER AD ADSORBIMENTO
AZIONATO DA CALORE A BASSA TEMPERATURA PRODOTTO DA
COLLETTORI PV/T INTEGRATI NELL'EDIFICIO**

RELATORE

ING. ANNAMARIA BUONAMANO
CH.MO. PROF. ING. FRANCESCO CALISE
CH.MO. PROF. ING ADOLFO PALOMBO

CANDIDATO

SIGISMONDO DI MARINO
MATR. M 67/188

CORRELATORE

ING. MARIA VICIDOMINI

ANNO ACCADEMICO 2016/2017

ABSTRACT

Il settore dell'edilizia rappresenta circa il 40% dell'utilizzo finale di energia ed è responsabile di oltre il 30% delle emissioni di gas a effetto serra nei paesi OCSE. Allo stesso tempo, gli edifici residenziali e commerciali mostrano un elevato potenziale di risparmio energetico, e possono quindi contribuire ad un'ampia riduzione dei consumi energetici globali. A questo proposito, i Paesi sviluppati stanno promuovendo politiche di efficienza energetica e la loro attuazione attraverso tecnologie efficienti, accessibili e ad alto impatto. In Europa, tali politiche mirano principalmente alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, al miglioramento dell'efficienza energetica e all'aumento dell'utilizzo delle energie rinnovabili. Tra le tecnologie rinnovabili disponibili, quelle basate sull'energia solare sono considerate tra le più promettenti per risparmiare energia e ridurre le emissioni di carbonio. La sorgente solare può essere opportunamente sfruttata tramite appositi pannelli solari termici (STC) e Fotovoltaici (PV).

Nei paesi dell'UE, l'integrazione nell'involucro delle tecnologie solari è spesso raccomandata o obbligatoria per nuovi edifici per affrontare sia gli aspetti funzionali che estetici. Nel prossimo futuro, gli elementi dell'involucro degli edifici dovranno essere parzialmente o totalmente sostituiti dai componenti del sistema ad energia solare. Realizzare sistemi solari integrati BISTs (Building Integrated Solar Technologies) rappresenta una misura preziosa ed efficace per aiutare e raggiungere l'obiettivo dell'efficienza energetica, riducendo il consumo di energia negli edifici e aumentando la quota delle energie rinnovabili.

Questo lavoro si concentra su un modello di simulazione dinamica per l'analisi economica, energetica e ambientale di un layout innovativo di trigenerazione solare (**Figura 1**), costituito da collettori non vetrati fotovoltaici cogenerativi PV/T integrati nel tetto di un edificio (BIPV/T), un chiller ad adsorbimento e ad un sistema di stoccaggio elettrico. L'energia termica dei collettori è sfruttata al fine di produrre riscaldamento e raffreddamento solare di una zona dell'edificio e acqua calda sanitaria. Nel sistema proposto sono incluse pompe di calore/ chillers elettrici ausiliari aria / acqua e una caldaia a condensazione a gas per integrare le esigenze di riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria. L'elettricità prodotta dai collettori è utilizzata per soddisfare il fabbisogno dell'edificio, l'eventuale extra produzione viene consegnata alla rete o immagazzinata in batterie al piombo.

Mediante il modello di simulazione dinamica sviluppato (implementato in ambiente TRNSYS), le prestazioni del sistema possono essere analizzate in termini di energia di riscaldamento / raffreddamento, di elettricità e di acqua calda sanitaria. In particolare, possono essere valutati sia gli

effetti energetici passivi che attivi dei collettori studiati. Per dimostrare la potenzialità del modello di simulazione sviluppato, per lo stesso edificio a 3 piani situato a Napoli si sono considerate 3 diverse destinazioni d'uso (ufficio, residenziale, palestra). Inoltre per la destinazione ufficio si è effettuata un'analisi di sensibilità sulle condizioni meteorologiche considerando quattro diverse aree climatiche italiane (Bolzano, Pescara, Napoli, Palermo).

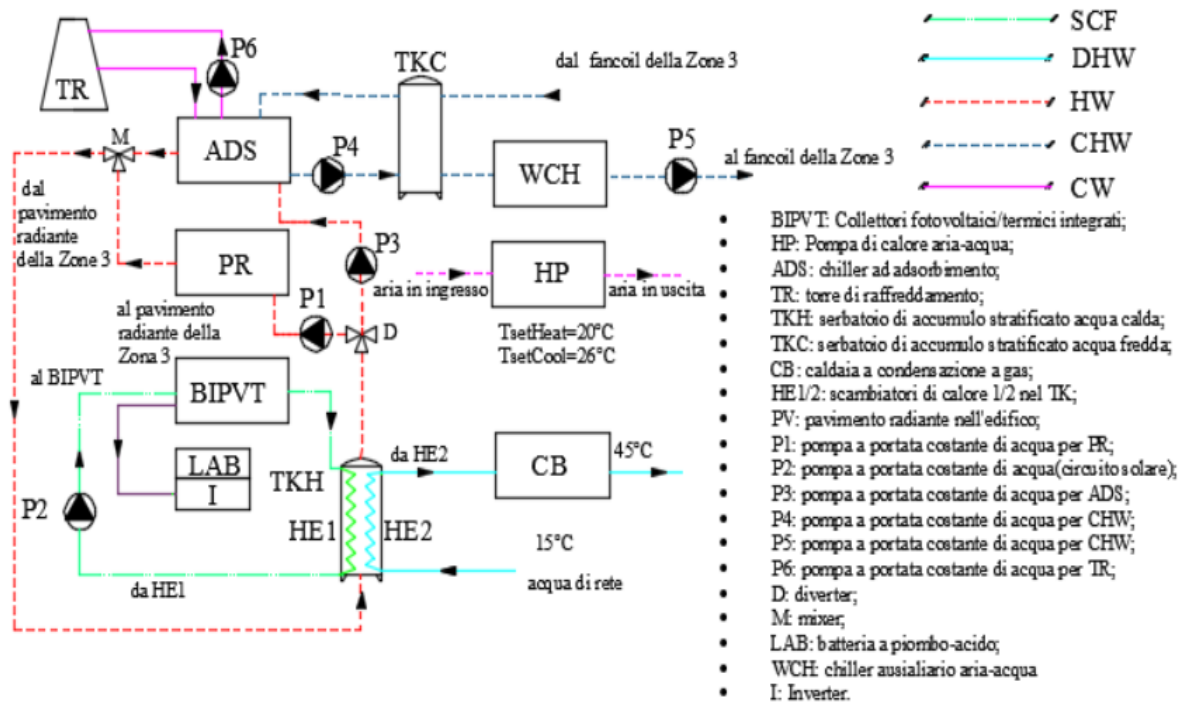


Figura 1: Schema del sistema

Al fine di analizzare gli effetti dei collettori BIPVT, del sistema a pavimento radiante, del sistema ADS e del sistema batteria, sul riscaldamento ed il raffreddamento del locale edilizio, l'acqua calda e il consumo di elettricità, il sistema proposto è stato confrontato con un sistema di riferimento che utilizza pompe di calore aria-acqua per il condizionamento degli ambienti e una caldaia a condensazione a gas per la produzione di acqua calda sanitaria (Figura 2).

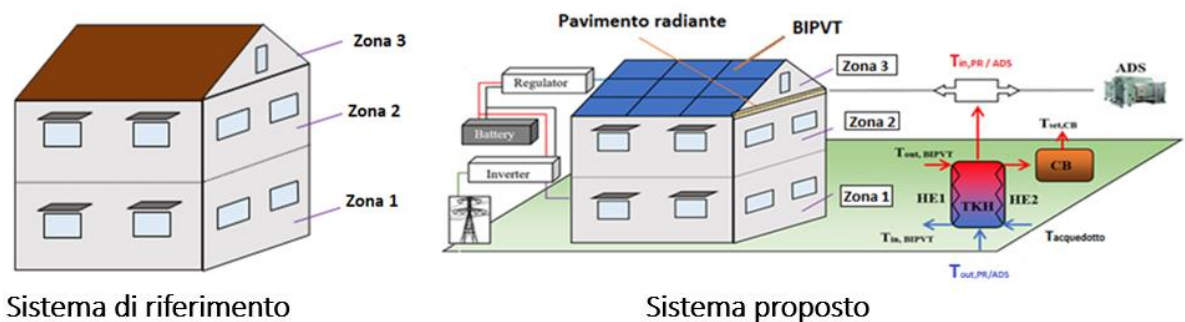


Figura 2: Edificio sistema di riferimento (SR) e sistema proposto (SP)

Le proprietà degli elementi opachi e trasparenti dell'edificio modellato sono riportati nella

Tabella 1 (tali caratteristiche sono rappresentative degli edifici tradizionali italiani).

Tabella 1 Caratteristiche edificio: elementi opachi/trasparenti (valori di U, spessori, riflettanza ed emissività)

Elementi edificio	U-valori	Spessore	ρ_s	ϵ
Tetto e facciata	0.98	0.30	0.40	0.90
Pavimento interno/soffitto	0.68	0.33		
Piano terra (pavimento_piastrille)	0.81	0.18		
Finestre	2.83	0.004/0.016 (air)/0.004	0.13	0.18

I principali parametri di funzionamento del SR e SP relativi alla destinazione d'uso ufficio sono riportati in Tabella 2 e

Tabella 3

Tabella 2: Dati simulazione(Uffici)

Temperature interne di set point [°C]	Riscald.: $T_{setRisc} = 20$ Raffredd.: $T_{setRaff} = 26$
Schedule occupanti [h]	08:00 am - 05:00 pm
Numero di occupanti per zona	18
Carichi interni persona [W/p]	Sensibile: 75 Latente: 75
Carichi interni macchine [h]	08:00 am - 05:00 pm
Carichi interni macchine per zone [W/m ²]	16.8 (18 computers, 140 W ognuno)
Luci [W/m ²]	5
Infiltrazione aria [vol/h]	0.4
Ventilazione [l/s p]	11
Ricambio aria free cooling [vol/h]	2.0
Temperatura set point ACS [°C]	45

Tabella 3: Principali parametri di progettazione del sistema proposto(Uffici)

Parametri	Descrizione	Valori	Unit
$A_{SC\ Roof}$	Superficie collettori BIPVT	122	m ²
η_0	Efficienza PV nelle condizioni di riferimento	12	%
B_{tetto}	Pendenza collettore (integrato nel tetto)	30	°
Q_{chw}	Potenza chiller ad adsorbimento	6.3	kW
COP_{ADS}	Coefficiente di prestazione nominale ADS	0.6	-
C_{cell}	Capacità cella batteria	16.7	Ah
$N_{S/p}$	Numero di celle in serie/parallelo	24/14	-
η_{LAB}	Efficienza Batteria	0.9	-
I_{Scald}	Potenza termica nominale caldaia a condensazione(CB)	0.754	kW
$\eta_{SR,ACS}$	Efficienza caldaia	0.95	-
COP_N	Coeff. di prestazione nominale pompa di calore(Risc.)	3.5	-
EER_N	Coeff. di prestazione nominale pompa di calore (Raff.)	3	-
$P_{risc/raff}$	Potenza riscaldamento/raffrescamento Zona 1	15 / 12	kW
$P_{risc/raff}$	Potenza riscaldamento/raffrescamento Zona 2	13 / 10	kW

	P _{risc/raff}	Potenza riscaldamento/raffrescamento Zona 3	7.9 / 6.3	kW
--	------------------------	---	-----------	----

I risultati dell'analisi annuale sulla domanda di energia primaria, per la destinazione d'uso ufficio, mostrano che durante la stagione invernale la domanda di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio diminuisce da 4.22 MWh/anno del SR a 3.03 MWh/anno del SP. Questo vantaggio è dovuto all'energia termica dei collettori BIPVT fornita al pavimento radiante della Zona 3 e all'effettivo effetto passivo riscaldante dovuto ai collettori BIPVT che fanno sì che la temperatura della superficie interna del tetto rivolto a sud del SP sia più elevata di quella del SR. Nonostante l'aumento della domanda di energia frigorifera, a causa dell'effetto negativo riscaldante dei collettori BIPVT, nella Zona 3 non c'è un aumento del consumo di energia primaria, dovuto alla tecnologia di raffreddamento solare adottata (chiller ad adsorbimento). Si noti che la EP_{Raff Zona 3} del SP tiene conto solo della domanda di energia primaria dovuta al chiller ausiliario elettrico (non sono considerati i consumi di energia primaria dovuti al chiller ad adsorbimento e alle pompe). Per quanto riguarda l'energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria del SP vs. SR si può notare che questa diminuisce passando da 0.86 MWh/anno a 0.25 MWh/anno grazie all'utilizzo dell'energia solare.

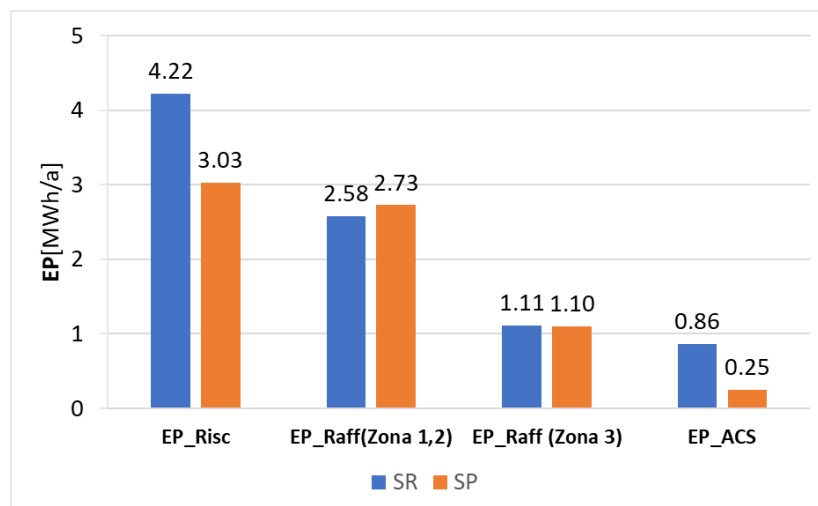


Figura 3: Confronto Energie primarie tra il SR e SP

I risultati dell'analisi economica(**Figura 4**), assumendo un incentivo sui costi del capitale pari al 50%, mostrano un SPB più basso per la palestra, 3.7 anni rispetto al SPB dell'ufficio e del residenziale (7.5 anni e 7.6 anni, rispettivamente), dovuto ad un maggior tasso di utilizzazione delle tecnologie solari e, di contro, un più basso risparmio di energia primaria(**Figura 5**) a causa dei maggiori consumi. Per il caso studio della palestra si è deciso di non utilizzare il chiller ad adsorbimento in quanto la palestra è caratterizzata da una domanda di ACS notevole, la cui portata è in grado di raffreddare il serbatoio di acqua calda, nel periodo di funzionamento estivo, al di sotto della temperatura di attivazione dell'adsorbitore, 55°C, non consentendo l'attivazione dell'ADS.

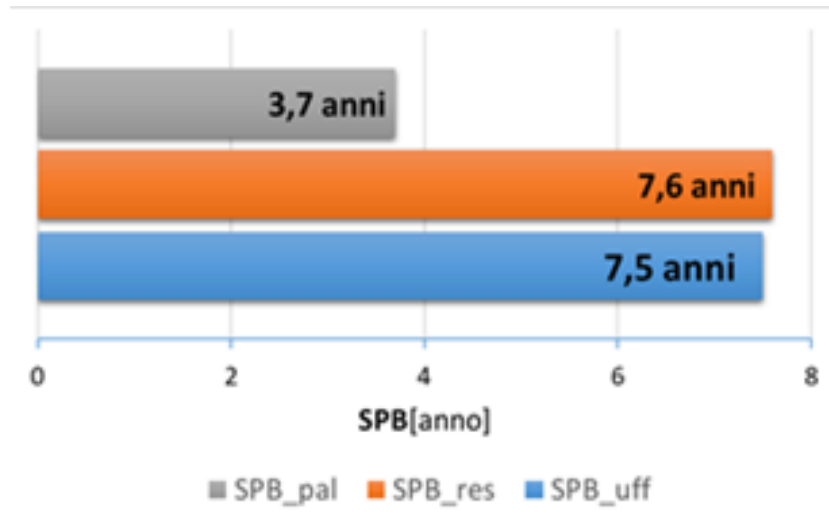


Figura 4: Confronto dell'analisi economica sulle destinazioni d'uso (palestra, residenziale e uffici)

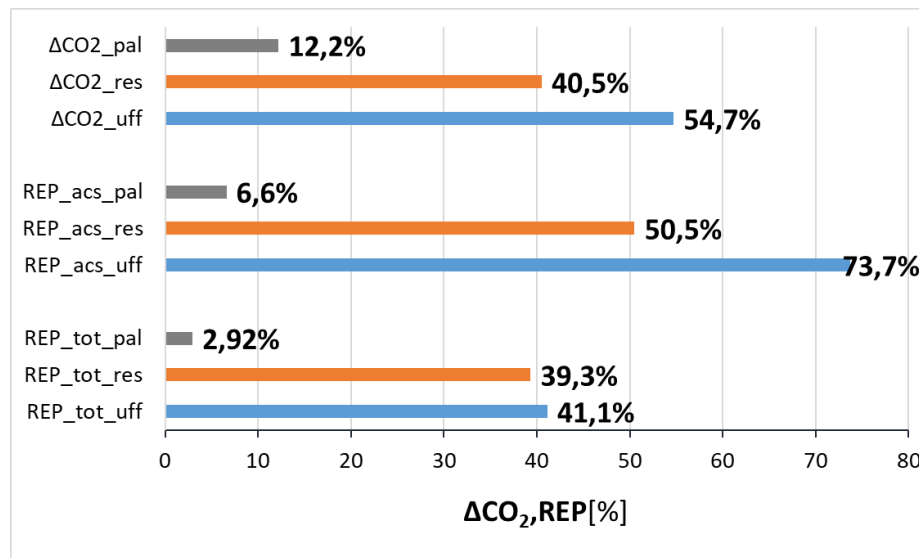


Figura 5: Confronto dell'analisi energetica sulle destinazioni d'uso (palestra, residenziale e ufficio)

L'analisi di sensibilità sulle 4 diverse zone meteorologiche italiane (Bolzano, Pescara, Napoli, Palermo) tiene conto di:

- periodi diversi di attivazioni degli schemi HVAC in linea con la legge 10 del 1991.
- nuove potenze di riscaldamento /raffreddamento del sistema edilizio, per rispettare i corrispondenti carichi di riscaldamento e raffreddamento delle zone climatiche selezionate.
- nuovi valori di trasmittanza termica u , degli elementi opachi/trasparenti delle strutture secondo le zone climatiche selezionate. In particolare, tali parametri seguono la legge italiana sull'efficienza energetica dei nuovi edifici (Decreto interministeriale 26 giugno 2015).

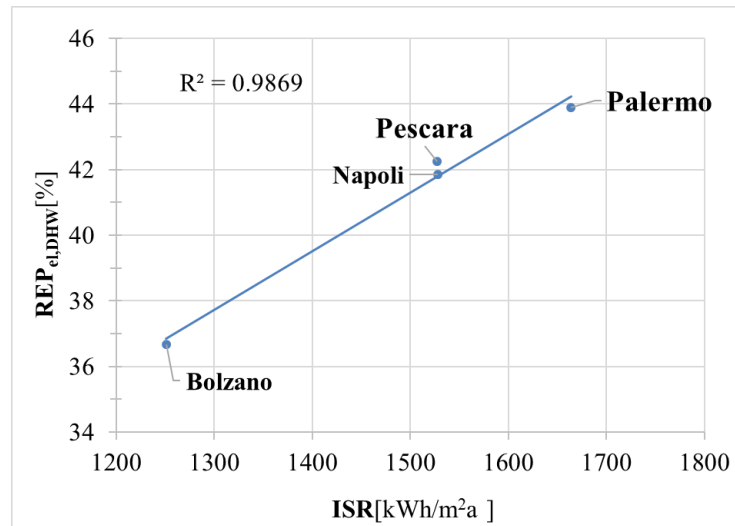


Figura 6: Risparmio di energia primaria per l'elettricità e l'acqua calda sanitaria in funzione della radiazione solare incidente (ISR)

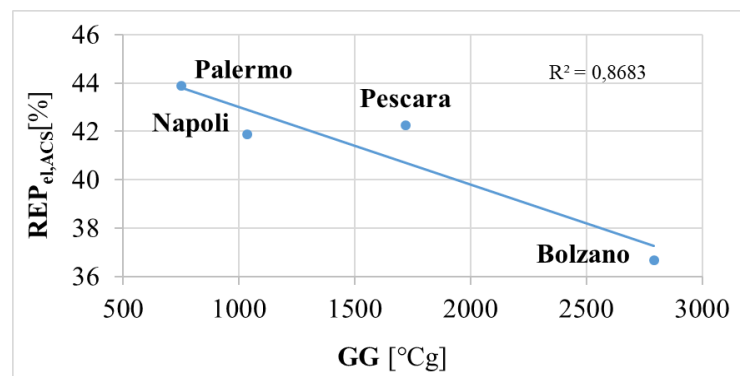


Figura 7: Risparmio di energia primaria per la produzione di energia elettrica e acqua calda sanitaria (ACS) in funzione dei GG per le 4 località

I risultati mostrano una tendenza quasi lineare tra il risparmio di energia primaria complessivo $REP_{el,ACS}$ e gli indici delle condizioni meteorologiche selezionate. In particolare, il $REP_{el,ACS}$ che varia tra il 43.9% di Palermo e il 36.7% di Bolzano aumenta linearmente con ISR e diminuisce con GG. Il più elevato $REP_{el,ACS}$ ottenuto per Palermo, è giustificato dalla maggiore produzione di elettricità dei collettori BIPVT rispetto alla produzione di elettricità realizzata a Bolzano (+ 19%).