

AiCARR Journal

LA RIVISTA PER I PROFESSIONISTI DEGLI IMPIANTI HVAC&R

RISCALDAMENTO
CONDIZIONAMENTO
AMBIENTE
REFRIGERAZIONE
RISCALDAMENTO
CONDIZIONAMENTO
AMBIENTE
ENERGIA
RISCALDAMENTO
REFRIGERAZIONE

ANNO 6 - FEBBRAIO 2015

EUR015

DM REQUISITI MINIMI, TUTTI PRONTI?

**CLIMATIZZAZIONE A BASSO
CONTENUTO D'ACQUA. UN'UTOPIA?**

TARIFFAZIONE E CONTABILIZZAZIONE

Verso un'utenza attiva nel sistema elettrico nazionale
Contabilizzazione dell'energia termica, un mercato da regolare

CASE STUDY

Pompe di calore ad acqua di mare per il Porto di Livorno
Da monastero a luxury hotel con pompe di calore polivalenti
Applicazioni geotermiche in zona termale

REFRIGERAZIONE

8Mag, il primo refrigeratore magnetico rotorico italiano

VENTILAZIONE MECCANICA INNOVATIVA

**TECNOLOGIE PER L'ACCUMULO
TERMICO LATENTE**



**RIQUALIFICAZIONE DELLE STRUTTURE RICETTIVE
ACCUMULO**

Foto d'insieme dell'edificio a lavori conclusi. La centrale tecnologica e le sonde geotermiche sono ubicate sul lato opposto dell'edificio



Approntamento della macchina perforatrice per l'esecuzione del Ground Response Test (maggio 2009)



Applicazioni geotermiche in zona termale

Pompa di calore acqua-acqua con scambio termico verso il terreno, radiante e sistema di ventilazione meccanica controllata per un edificio residenziale ad alta efficienza

di Francesco Fellin*

CINQUE ANNI OR SONO mi fu proposto da una società di imprenditori di progettare gli impianti termomeccanici di un condominio ad alta efficienza energetica ubicato nel comune di Montegrotto Terme, nella rinomata zona termale sita a Sud-Ovest della città di Padova. Accettai con entusiasmo, anche per aver modo di poter mettere in pratica una sorta di sperimentazione con l'impiego di pompa di calore geotermica in un contesto del tutto particolare quale quello termale. Adesso che l'edificio è terminato, è possibile constatare come l'obiettivo sia stato raggiunto mediante il coinvolgimento di una pluralità di competenze che sono state armonicamente integrate

alla costante ricerca dell'obiettivo comune, pur nel rispetto dei ruoli specifici.

Descrizione sintetica dell'edificio e obiettivi

L'edificio consiste di quattro piani, di cui l'ultimo è il sottotetto abitabile, per una superficie di circa 870 m² e contiene nove unità indipendenti (Tabella 1) con distribuzione quadripartita. Al piano terra, oltre alle otto autorimesse e agli spazi comuni di ingresso e disimpegno, sono ubicate la centrale tecnologica e le pertinenze di tre delle quattro unità immobiliari poste al primo piano; al secondo piano sono ubicate altre quattro unità

immobiliari le cui pertinenze sono poste al terzo piano.

Si è poi ricavata una nona unità indipendente separando una unità al primo piano e la relativa pertinenza al piano terra in due unità, una su ciascun piano, eliminando la rampa interna di scale (l'unità in questione è posta nell'angolo Sud del fabbricato), come mostrato in Figura 1.

Per espressa volontà del Committente, l'edificio ha un consumo energetico particolarmente limitato e ben al di sotto di quanto

strettamente richiesto dalla legislazione allora vigente, il D.Lgs. 192/05, e risponde ai requisiti della classe energetica A del protocollo Casaclima, che prevede un fabbisogno energetico annuo per riscaldamento inferiore a 30 kWh/m².

Per quanto riguarda l'involucro, particolare attenzione è stata posta nella realizzazione dell'isolamento termico delle strutture opache orizzontali e verticali e nella riduzione dei ponti termici. In particolare sono stati adottati i seguenti valori di trasmittanza:

- muratura esterna a cassetta, spessore di isolante interposto 12 cm, $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; limite allora vigente: $0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, attuale $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- copertura a falde ventilata, spessore di isolante 20 cm, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; limite allora vigente, $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, attuale: $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- vetrocamera basso-emissivi, su serramenti di tipo autoportante dotati di telaio in PVC con avvolgibile integrato, $U = 1,72 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, limite allora vigente: $2,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, attuale: $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tutti i ponti termici sono stati verificati in sede progettuale mediante il coinvolgimento di un consulente Casaclima certificato, che ha suggerito le soluzioni per il loro corretto trattamento.

Dal punto di vista impiantistico, il progetto preliminare prevedeva un riscaldamento con caldaie autonome e predisposizione per il condizionamento (due unità tipo split-system, una per ciascun piano di afferenza dell'unità immobiliare).

Ipotesi progettuali

In Tabella 2 sono illustrate le condizioni climatiche di riferimento adottate nel progetto.

Le condizioni interne di progetto sono tipiche di un contesto residenziale, con temperatura invernale di 20 °C e UR=45%, condizioni estive 27 °C, UR=55%.

Il terreno come sorgente esterna per la pompa di calore

La particolarità del sito ha richiesto un approfondito studio [1]. L'esecuzione di un ground response test ha consentito un corretto dimensionamento del campo di scambiatori termici verticali, consistente nella sonda S1, di profondità limitata a 70 m per problemi inerenti alla perforazione, più altre quattro sonde, da S2 a S5, da 120 m ciascuna (Figura 1). La necessità di prevenire fenomeni di invecchiamento precoce del materiale delle tubazioni, a motivo della maggiore temperatura media del terreno, ha escluso alcune tipologie di materiali quali il classico PEAD, privilegiando il più sicuro PEX-a.

Produzione di energia termica e frigorifera e di acqua calda sanitaria

L'impianto, il cui schema funzionale è in Figura 2, è costituito da una pompa di calore acqua-acqua con scambio termico verso il terreno dedicata al soddisfacimento dei carichi termici e frigoriferi e alla produzione centralizzata di acqua calda sanitaria, da due serbatoi di accumulo coibentati per stoccaggio dell'acqua calda (destinata

Unità	Superficie [m ²]	Piani occupati	Quadrante e orientamento
A1	86	Terra, primo	Ovest
A2	86	Terra, primo	Nord
B1-T	47	Terra	Sud
B2	88	Terra, primo	Est
B1-1	59	Primo	Sud
D1	122	Secondo, sottotetto	Ovest
D2	122	Secondo, sottotetto	Nord
E1	121	Secondo, sottotetto	Sud
E2	121	Secondo, sottotetto	Est

Tabella 1 – Classificazione delle unità immobiliari

Località	Montegrotto Terme (PD)
Parametri climatici (Zona E) [GG]	2383
Latitudine [°]	45°19'
Longitudine [°]	11°47'
Temperatura minima invernale di progetto [°C]	-6
Umidità relativa invernale di progetto [%]	75,0
Temperatura massima estiva di progetto a bulbo secco [°C]	32,5
Temperatura massima estiva di progetto a bulbo umido [°C]	24,0
Umidità relativa estiva di progetto [%]	50,0

Tabella 2 – Condizioni climatiche di riferimento

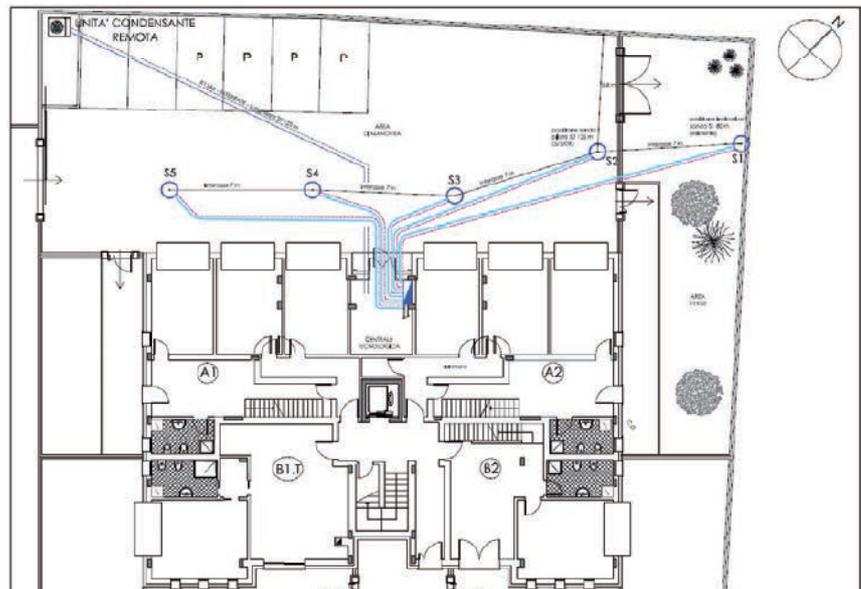


Figura 1 – Identificazione delle unità immobiliari al piano terra (l'unità B1.1 è posizionata al primo piano direttamente sopra l'unità B1.T). È ben visibile in alto l'ubicazione delle cinque sonde geotermiche verticali e il collegamento alla pompa di calore in centrale tecnologica: nell'angolo in alto a sinistra è riportata l'unità condensante remota per il funzionamento estivo. Tutte le installazioni impiantistiche comuni, eccetto la sonda S1, sono poste negli spazi condominiali per evitare la creazione di servitù impiantistiche



GEOHERMAL APPLICATION IN A THERMAL WATERS SITE

This paper presents a sample of geothermal heat pump used in a residential building located in a thermal waters site, near Padova (Italy). A high efficiency building, respecting the class "A" of Casaclima standard, has been realized by using floor radiant panels, air ventilation with recovery, centralized production of hot and chilled water and domestic hot water. This particular site has requested a detailed preliminary study (performed by means of a calculation

model) and a ground response test, usually not done for this size of buildings (less than 1000 m²). Five vertical boreholes are used as heat pump ground source, while during summer the heat pump coupled to an air condenser: a special version of a heat pump has been defined for this application. An economic evaluation demonstrates the validity of this solution. **Keywords: Geothermal heat pumps, thermal water site, high efficiency buildings**

Chiller	Potenza Frigorifera	[kW]	17.3
	Potenza Assorbita Compressore	[kW]	5.8
	Corrente Assorbita Compressore	[A]	10.9
	EER	[-]	2.98
	Potenza da smaltire lato Dry-Cooler	[kW]	23
	Portata d'Acqua all'utenza	[l/h]	2956
	Perdite di Carico Acqua all'utenza	[kPa]	13
	Portata d'Acqua lato dissipazione/disaccoppiamento	[l/h]	3942
ACS	Perdite di Carico Acqua lato dissipazione + /disaccoppiamento	[kPa]	23 + 5
	Potenza Termica	[kW]	28.9
	Potenza Assorbita Compressore	[kW]	7.2
	Corrente Assorbita Compressore	[A]	12.8
	COP	[-]	4.00
	Potenza da prelevare lato sonde	[kW]	22
	Portata d'Acqua all'utenza	[l/h]	4889
	Perdite di Carico Acqua all'utenza	[kPa]	34
Chiller + ACS	Portata d'Acqua lato dissipazione	[l/h]	1263 (*)
	Perdite di Carico Acqua lato dissipazione	[kPa]	2.4 (*)
	Potenza Frigorifera	[kW]	15.7
	Potenza Termica ACS	[kW]	22.3
	Potenza Assorbita Compressore	[kW]	6.9
	Corrente Assorbita Compressore	[A]	12.3
	COP globale	[-]	5.51
	Portata d'Acqua all'utenza fredda	[l/h]	2692
Pompa di Calore	Perdite di Carico Acqua all'utenza fredda	[kPa]	10
	Portata d'Acqua all'utenza ACS	[l/h]	3840
	Perdite di Carico Acqua all'utenza ACS	[kPa]	20
	Potenza Termica	[kW]	32.6
	Potenza Assorbita Compressore	[kW]	4.9
	Corrente Assorbita Compressore	[A]	9.4
	COP	[-]	6.65
	Potenza da prelevare lato sonde	[kW]	28
Pompa di Calore	Portata d'Acqua all'utenza	[l/h]	5610
	Perdite di Carico Acqua all'utenza	[kPa]	43
	Portata d'Acqua lato dissipazione	[l/h]	1598 (*)
	Perdite di Carico Acqua lato dissipazione	[kPa]	3.7 (*)

Tabella 3 – Specifiche tecniche dell'unità polivalente in esecuzione speciale

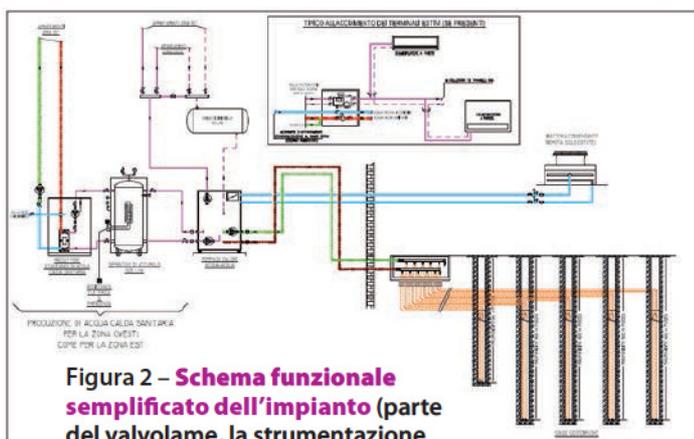


Figura 2 – Schema funzionale semplificato dell'impianto (parte del valvolame, la strumentazione e le connessioni elettriche sono omesse per maggior chiarezza)

Figura 3 – Vista della centrale tecnologica: sullo sfondo uno dei due produttori istantanei di ACS collegato all'accumulo di capienza pari a 1500 litri posto sulla sinistra



alla produzione istantanea di acqua calda sanitaria) e da due preparatori istantanei di acqua calda sanitaria (Figura 3), costituiti essenzialmente da scambiatore a piastre e circolatore per la massima igiene dell'acqua prodotta (nessun ristagno per lunghi periodi dentro i serbatoi di accumulo). Tale soluzione consente di trarre un elevato vantaggio in termini energetici, data la temperatura media del terreno nel sito di ubicazione dell'edificio, che è una zona termale. Durante il funzionamento come refrigeratore la macchina viene raffreddata ad aria esterna, poiché le temperature del terreno non consentono in questo caso lo smaltimento del calore di condensazione. La pompa di calore si configura quindi come una macchina in esecuzione speciale, i cui dati sono riassunti in Tabella 3.

Per quanto riguarda la distribuzione dei fluidi termovettori, l'edificio è stato suddiviso secondo due montanti Est e Ovest, a ciascuno dei quali affrisce un sistema indipendente per la produzione di acqua calda sanitaria.

È previsto un sistema di resistenze elettriche di emergenza che vengono messe in funzione (per la sola produzione di ACS) in caso di avaria della pompa di calore, impiegando l'alimentazione elettrica di quest'ultima per limitare l'impiego di potenza.

Terminali di impianto

Tutto l'edificio è dotato di impianto di riscaldamento a pannelli radianti di tipo tradizionale con regolazione mediante cronotermostato programmabile che agisce sulle testine elettrotermiche di ogni circuito. A motivo dell'elevato grado di isolamento dell'edificio e al fine di non ridurre l'efficienza della pompa di calore, è stato scelto di non installare scaldavivette ad alimentazione elettrica nei servizi igienici, prevedendone peraltro la predisposizione.

I vari circuiti dei pannelli radianti sono connessi al collettore di piano, a sua volta alimentato dalla cassetta di contabilizzazione pertinente all'unità abitativa, ubicata nel vano scale condominiale al primo e al secondo piano. I collettori sono del tipo con circolatore dedicato, per permettere la miscelazione tra acqua di ingresso e di uscita ai pannelli e consentirne così l'impiego anche in modalità di raffreddamento estivo (eccetto l'unità B1.1). Sulle tubazioni di ingresso e uscita immediatamente prima di ogni collettore sono realizzati gli stacchi per il collegamento ai deumidificatori alimentati con acqua a 7°C.

È previsto un selettore stagionale che esclude l'alimentazione dei pannelli radianti dei servizi igienici durante la stagione estiva, considerato l'alto valore di umidità relativa in tali ambienti, in modo da evitare la formazione di condensa sulla superficie del pavimento.

Ventilazione meccanica controllata

In un edificio a elevata prestazione energetica, la ventilazione meccanica controllata (Figura 4) è quasi obbligatoria per non vanificare il risparmio energetico mediante l'aerazione manuale. È stato previsto un sistema di unità ventilanti con recupero in grado di garantire una portata di aria esterna di circa 0,45 vol/h. La necessaria deumidificazione estiva è affidata ai deumidificatori di cui si è parlato, installati a incasso da parete o da controsoffitto.

Si rimanda alla Tabella 4 per il dettaglio di deumidificatori (Figura 6) e unità di ventilazione (Figura 5).

Nel luglio 2012 negli appartamenti D1 e B2 è stato effettuato, con esito positivo, un test di tenuta all'aria secondo UNI 13829:2002; il test è prescritto dall'Agenzia CasaClima come requisito necessario all'ottenimento della certificazione di classe "A".

Analisi economico-energetica

Nel seguito, per l'edificio considerato è riportata una sintetica analisi economica riferita al confronto tra due alternative: la dotazione impiantistica di tipo tradizionale, A, e l'alternativa con pompa di calore reversibile centralizzata, B. L'analisi esclude di proposito il costo della ventilazione meccanica controllata, sia perché non tutte le unità ne sono dotate (Tabella 4), sia perché si tratta di una soluzione valida in entrambi i casi, il cui costo, nel 2010, si aggirava intorno a circa 3000 € per ciascuna unità abitativa. Dato il basso tasso di inflazione riscontrato negli ultimi anni, i costi riportati in Tabella 5, aggiornati al 2010, possono essere considerati tuttora validi.

Evidentemente nel caso B il costruttore si assume l'onere di fornire una dotazione impiantistica completa anche per il raffrescamento estivo, laddove nel caso A viene solamente predisposto il condizionamento autonomo lasciando poi l'onere della relativa installazione al proprietario (ultime due righe in Tabella 5); per questa analisi il confronto viene evidentemente svolto a parità di dotazioni impiantistiche, ignorando la provenienza dell'investimento (è peraltro ipotizzabile che nel caso B il costruttore possa vendere le unità a prezzo più elevato, considerata la migliore dotazione impiantistica; se così non fosse infatti il vantaggio energetico sarebbe solo dell'acquirente).

Per quanto riguarda i costi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, il confronto viene effettuato considerando il costo del gas metano all'acquirente (caso A) e il costo dell'energia elettrica (caso B).

In regime di raffrescamento estivo i casi A e B sono energeticamente equivalenti, variando solo le tariffe elettriche applicate (Tabella 5).

In Tabella 6 sono riportati i fabbisogni e i consumi energetici e il costo complessivo annuo (riferito al 2010 ma considerato tuttora valido a motivo del ridottissimo tasso di inflazione) per le due soluzioni, calcolati con le seguenti ipotesi:

- potere calorifico standard superiore del gas metano: 10,6 kWh/m³;
- rendimento medio di caldaia (riscaldamento): 95%;
- rendimento medio di caldaia (produzione acqua calda sanitaria): 90%;
- consumo di acqua calda sanitaria: 80 litri per persona al giorno a t = 50 °C con T_{ingresso} = 15 °C (circa 950.000 l/anno)
- COP della pompa di calore (riscaldamento): 5
- COP della pompa di calore (produzione acqua calda sanitaria): 4
- EER della pompa di calore (raffrescamento): 3,5
- EER del sistema autonomo tipo split-system: 3,5

Nel caso A, il costo medio dell'energia elettrica all'utente finale, calcolato come media dei due valori:

- per P_{inst} = 4,5 kW e 4500 kWh annui di consumo: 0,29 €/kWh [2]

UNITÀ A1

piano	tipologia deumidificatore	UVR
terra	semincasso a parete	100 m ³ /h
primo	incasso sospeso	

UNITÀ A2

piano	tipologia deumidificatore	UVR
terra	semincasso a parete	---
primo	incasso sospeso	---

UNITÀ B1.T

piano	tipologia deumidificatore	UVR
terra	semincasso a parete	---

UNITÀ B2

piano	tipologia deumidificatore	UVR
terra	semincasso a parete	
primo	incasso sospeso	150 m ³ /h

UNITÀ B1.1 (solo riscaldamento)

piano	tipologia deumidificatore	UVR
primo	---	---

UNITÀ D1

piano	tipologia deumidificatore	UVR
secondo	incasso sospeso	150 m ³ /h
sottotetto	incasso sospeso	

UNITÀ D2

piano	tipologia deumidificatore	UVR
secondo	incasso sospeso	150 m ³ /h
sottotetto	incasso sospeso	

UNITÀ E1

piano	tipologia deumidificatore	UVR
secondo	incasso sospeso	150 m ³ /h
sottotetto	semincasso a parete	

UNITÀ E2

piano	tipologia deumidificatore	UVR
secondo	incasso sospeso	---
sottotetto	semincasso a parete	---

Tabella 4 – Dotazione di ciascuna unità immobiliare: deumidificatori e unità ventilanti con recupero (UVR)

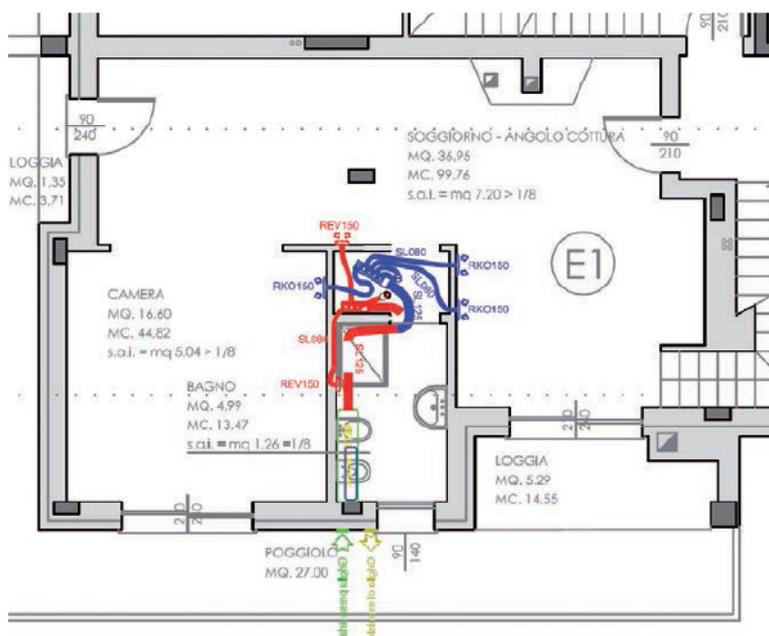


Figura 4 – Particolare di una UVR per la ventilazione meccanica controllata installata nel controsoffitto dell'antibagno (le canalizzazioni di presa ed espulsione dell'aria sono celate da una finta trave in cartongesso nel bagno finestrato)

Figura 5 – Unità ventilante per installazione sospesa celata entro una finta trave in cartongesso



Figura 6 – Deumidificatore a soffitto (si vedono gli sportelli di accesso per la manutenzione)



Descrizione	Costi (2010) soluzione A [€]	Costi (2010) soluzione B [€]
Pompa di calore reversibile con unità condensante esterna	NP	19.500
Maggiori oneri condominiali per contatore dedicato alla pompa di calore	NP	800
Distribuzione di centrale, collettore primario, montanti ai piani	NP	18.000
Elettropompe di centrale	NP	3.200
Collegamenti esterni, collettore sonde geotermiche	NP	3.500
Sonde geotermiche con Ground Response Test	NP	44.000
Accumuli e produttori istantanei acqua calda sanitaria	NP	4.000
Distribuzione primaria di appartamento	3.000	3.000
Cassette contabilizzatrici	NP	9.000
Pannello radiante e relativi collettori	43.000	43.000
Caldaie autonome a gas a condensazione	9 x 2.300	NP
Camini per caldaie autonome	6.000	NP
Deumidificatori	NP	9 x 230
Predisposizione per impianto di condizionamento autonomo	6.000	NP
Impianti di condizionamento autonomi (eccetto unità B1.1)	4 x 2.500 + 4 x 3.000	NP
Impianto di condizionamento autonomo unità B1.1	1.500	1.500
TOTALE	102.200	132.070

Tabella 5 – **Confronto economico** tra le due alternative.
A: impianto autonomo tradizionale; B: pompa di calore reversibile centralizzata; NP: Non Previsto

descrizione	Soluzione A	Soluzione B
Fabbisogno termico invernale complessivo	26200 kWh	
Consumo energetico per riscaldamento	2600 m ³	6550 kWh
Fabbisogno termico per produzione acqua calda sanitaria	~38000 kWh	
Consumo energetico per produzione acqua calda sanitaria	3983 m ³	9500 kWh
Fabbisogno energetico per raffrescamento	10000 kWh	
Consumo energetico per raffrescamento	2900 kWh	
Consumo energetico complessivo	6583 m ³ + + 2900 kWh	18950 kWh
Costo energetico complessivo annuo	5398 € (gas) + 696 € (energia elettrica) = 6094 € (2015)	852 € (quota fissa) + 3051 € (variabile) = 3852 € (2015)

Tabella 6 – **Fabbisogni, consumi energetici e costo complessivo annuo** per le due soluzioni

Extracosto della soluzione B (pompa di calore reversibile) rispetto alla A	29870 €
Risparmio annuo nel caso B rispetto a quello A	2280 €
Tasso d'interesse	4%
Tasso d'inflazione	3%
Valore Attuale Netto	circa 25.000 €
Tempo di ritorno dell'investimento	circa 12 anni

Tabella 7 – **Risultati dell'analisi economica** (riferita al 2015)

- per $P_{inst} = 3$ kW e 2700 kWh annui di consumo: 0,19 €/kWh [2]

risulta uguale a circa 0,24 €/kWh. Vengono utilizzate tariffe vigenti nel 2015, mentre i costi di impianto sono riferiti al 2010, ma essendo questi tuttora plausibili, si ritiene in questo modo di offrire al lettore un confronto attuale.

Sempre nel caso A, il costo medio del gas naturale è valutato in 0,82 €/m³.

Per il caso B, applicando la tariffa BTA3 (potenza impegnata di 6 kW), si ha un costo medio dell'energia di 0,16 €/kWh, cui sono stati aggiunti oneri fissi e imposte [3].

Vi sono inoltre altri fattori difficilmente monetizzabili, tra cui il (presunto) minor onere manutentivo dell'impianto centralizzato rispetto alla somma dei nove impianti autonomi, il maggior costo a carico del condominio per l'impegno di potenza elettrica nel caso centralizzato, che peraltro potrebbe essere pareggiato dall'impegno di potenza delle singole unità qualora vengano impegnati per ciascuna unità 4,5 kW (anziché i tradizionali 3 kW), la maggiore affidabilità e durata di un impianto centralizzato (purché adeguatamente manutentato) rispetto agli impianti autonomi.

Per il calcolo del VAN si è utilizzato l'utile strumento di calcolo che AiCARR mette a disposizione dei suoi soci in modalità calcolo base [4]; i dati risultanti sono riportati nella Tabella 7.

Conclusioni

In conclusione, l'investimento risulta comunque conveniente, anche in assenza di incentivi; nel caso dell'Impresa costruttrice, come già detto in precedenza, appare opportuno e verosimile che il maggior costo di investimento sia sostenuto dall'acquirente finale dell'unità, soggetto che beneficerà poi del risparmio nei successivi anni di esercizio dell'impianto. ■

* *Francesco Fellin*, libero professionista, Padova

BIBLIOGRAFIA

- [1] De Carli M., Emmi G., Zarrella A., Galgaro A. 2011. Possible ground energy uses in zones with anomalous gradient of temperature. Proceedings of IIR International Conferences 2011, Padova, April;
- [2] <http://www.acquirenteunico.it/canale/consumatori/storico-del-prezzo-medio-nazionale-di-riferimento/evoluzione-del-prezzo-di-rif-22>;
- [3] http://www.enel.it/it-IT/clienti/enel_servizio_elettrico/tariffe_per_la_casa/tariffe_per_usi_diversi/bta3.aspx;
- [5] Tool, software di calcolo Aicarr, A04: calcoli finanziari: valutazione del valore attuale netto (VAN), www.aicarr.org.