



Ricerca di Sistema elettrico

Report su attività di diffusione dei risultati del WP3 – Anno 2020

G. Boccardi, F. D'Annibale, A. Mariani, C. Menale,
M. Pieve, R. Trinchieri, A. C. Violante

REPORT SU ATTIVITÀ DI DIFFUSIONE DEI RISULTATI DEL WP3 – ANNO 2020

G. Boccardi, F. D'Annibale, A. Mariani, C. Menale, M. Pieve, R. Trinchieri, A. C. Violante (ENEA)

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Pompe di Calore

Linea di attività: Diffusione dei risultati anno 2020

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Raniero Trinchieri, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 DESCRIZIONE DEL FOGLIO DI CALCOLO POTENZA ORARIA	5
2.1.1 <i>Interfaccia grafica e dati di input</i>	5
2.1.2 <i>Procedura di calcolo dell'output</i>	6
2.2 DESCRIZIONE DEL FOGLIO DI CALCOLO VAN	9
2.2.1 <i>Dati di input per il calcolo del VAN e interfaccia grafica</i>	9
2.2.2 <i>Procedura di calcolo dell'output</i>	10
2.3 DIFFUSIONE SU PORTALE ENEA DEI FILE PREDISPOSTI	11
2.4 PARTECIPAZIONE A CONGRESSI ED EVENTI	15
2.4.1 <i>International team meeting IEA Annex 34/55 sul 'Comfort Climate Box' (CCB)</i>	15
2.4.2 <i>Partecipazione all'IEA TCP ExCo Meeting on Heat Pumping Technologies – 3 Novembre 2020</i>	16
2.4.3 <i>Partecipazione ad eventi e congressi</i>	16
3 DIFFUSIONE SU RIVISTE	17
4 RIFERIMENTI	18

Sommario

L'attività di diffusione dei risultati del WP3 "pompe di Calore" del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" nella seconda annualità è stata condotta quasi completamente attraverso partecipazioni in remoto a congressi specialistici e a gruppi di lavoro internazionali a causa delle vicende pandemiche legate alla diffusione del virus COVID-19.

L'accresciuto impiego della modalità di comunicazione in remoto nel mondo accademico, della ricerca e nella società italiana in generale, ha spinto l'ENEA ed i suoi partners all'incremento delle iniziative di diffusione online. In particolare, nelle previste pagine web predisposte per la diffusione dei risultati del WP3, è stata aggiunta l'opportunità di usufruire del download di alcuni file aggiuntivi a quelli previsti (inizialmente riguardanti strumenti s/w per la simulazione dinamica di sistemi di climatizzazione integrata, realizzati da UniBologna). Questi file aggiuntivi, messi a disposizione sulla pagina web <https://energia.enea.it/progetti-nazionali/> del dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN), consentono di stimare, a partire da pochi dati di input, il fabbisogno orario di utenze tipo ubicate nelle varie zone climatiche italiane e consentono il calcolo dei tempi di ritorno dell'investimento di installazione di pompe di calore elettriche rispetto all'uso di caldaie a condensazione a gas.

Il gruppo di ricerca impegnato nell'attività di diffusione ha proseguito la partecipazione ai lavori del Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TPC) dell'IEA e ha ospitato il meeting Internazionale IEA sull'Annex 34/55, "Comfort Climate Box" (CCB).

1 Introduzione

L'attività di diffusione dei risultati del WP3 "pompe di Calore" del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" nella seconda annualità è stata influenzata pesantemente dalle vicende pandemiche legate alla diffusione del virus COVID-19, che ha limitato la possibilità di partecipazione in presenza a congressi specialistici e a gruppi di lavoro internazionali.

Per diffondere adeguatamente i risultati dell'attività di ricerca, sono state potenziate le iniziative di diffusione online, predisponendo e mettendo a disposizione degli interessati alcuni file aggiuntivi a quelli previsti (inizialmente riguardanti strumenti s/w per la simulazione dinamica di sistemi di climatizzazione integrata, realizzati da UniBologna). Nel seguito si descrivono le funzionalità dei file predisposti e le logiche di calcolo dei parametri uscenti, che riprendono e sviluppano quanto realizzato nel corso della prima annualità del progetto.

Nel presente documento saranno poi elencati gli eventi a cui hanno partecipato i ricercatori ENEA coinvolti nell'attività di ricerca e le pubblicazioni prodotte nel corso della seconda annualità del progetto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Descrizione del foglio di calcolo Potenza oraria

Partendo dall'attività di ricerca sviluppata in [1], è stato prodotto un foglio di calcolo in grado di fornire indicazioni sulla potenza termica oraria che deve fornire un impianto di riscaldamento in un'abitazione, conoscendo il fabbisogno annuo e la zona climatica in cui essa si trova.

2.1.1 Interfaccia grafica e dati di input

Il primo dato di input richiesto è la zona climatica in cui è ubicata l'abitazione. Nell'algoritmo di calcolo si tiene conto di valori medi per ogni fascia climatica, pertanto non è necessario inserire il valore dei gradi giorno della specifica località.

Un secondo dato di input necessario è il fabbisogno complessivo annuo per riscaldamento. Nel caso in cui il generatore termico da sostituire fosse una caldaia a gas naturale, il fabbisogno termico può essere ricavato indicativamente dalla lettura della bolletta dell'utenza gas, che fornisce il consumo annuo di gas naturale in metri cubi. Per ottenere la quota dovuta al riscaldamento, in termini medi si può considerare che i consumi per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e la cottura dei cibi (laddove entrambe siano effettuate con il gas naturale) siano quantificabili in circa 210 metri cubi annui per una famiglia di 3 persone. Nel foglio di calcolo si inserirà perciò il valore del consumo di gas dato dalla differenza tra quello annuo totale e quello per ACS e cottura espresso in metri cubi.

Se il generatore termico da sostituire è di altra natura (caldaia a gasolio, gpl, biomassa), è necessario risalire, attraverso il consumo annuo di combustibile impiegato, al valore di fabbisogno in kWh termici, che dovrà essere inserito nel foglio di calcolo. Ad esempio, se il consumo annuo di gasolio è di 2000 litri, con un Potere Calorifico Inferiore di circa 10 kWh/l, si avrebbe un fabbisogno di circa 20000 kWh, da cui sottrarre circa 2000 kWh per produzione ACS e cottura cibi.

Il foglio di calcolo produce come output il profilo orario di potenza necessaria per soddisfare il fabbisogno per il riscaldamento dell'abitazione, che può essere utilizzato come prima stima di riferimento per la scelta della corretta taglia di una pompa di calore di tipo aria-acqua.

L'interfaccia utente si presenta come in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Finché non viene effettuata la scelta relativa al tipo di alimentazione del riscaldamento attualmente impiegato è visualizzato un messaggio che ricorda di scegliere dal relativo menu a tendina l'opzione "metano" o "altro".

	A	B	C	D	E	F	G	H								
1	Istruzioni per l'impiego del calcolatore															
2	Il foglio calcola la potenza oraria da fornire ad un'abitazione di riferimento per il riscaldamento durante la giornata-tipo invernale															
3																
4	Zona climatica	Zona D														
5	Alimentazione riscaldamento attuale	Metano														
6	Scegliere l'alimentazione per il calcolo del fabbisogno	10000														
7																
8	CALCOLA															
9																
10																
11																
	A	B	C	D	E	F	G	H								
1	Istruzioni per l'impiego del calcolatore															
2	Il foglio calcola la potenza oraria da fornire ad un'abitazione di riferimento per il riscaldamento durante la giornata-tipo invernale															
3																
4	Zona climatica	Zona D														
5	Alimentazione riscaldamento attuale	Metano														
6	Inserire il fabbisogno annuo per riscaldamento (metri cubi)	1000														
7																
8	CALCOLA															
9																
10																
11																
	A	B	C	D	E	F	G	H								
1	Istruzioni per l'impiego del calcolatore															
2	Il foglio calcola la potenza oraria da fornire ad un'abitazione di riferimento per il riscaldamento durante la giornata-tipo invernale															
3																
4	Zona climatica	Zona D														
5	Alimentazione riscaldamento attuale	Altro														
6	Inserire il fabbisogno annuo per il riscaldamento (kWh termici)	1000														
7																
8	CALCOLA															
9																
10																
11																

Figura 1 - Interfaccia utente per l'inserimento dei dati

2.1.2 Procedura di calcolo dell'output

Il fabbisogno termico per riscaldamento inserito dall'utente viene impiegato per determinare dapprima la potenza termica di progetto, ovvero quella corrispondente alla temperatura di progetto media della zona climatica considerata.

Si ipotizza un andamento lineare decrescente della firma energetica dell'abitazione (per il cui significato si rimanda al Report [1]), con temperatura esterna di spegnimento dell'impianto di riscaldamento pari a 16 °C. Da ciò si ottiene l'andamento della potenza termica richiesta dall'abitazione in funzione della temperatura esterna.

Si calcola poi l'andamento dei bin, ovvero del numero di ore per cui la temperatura dell'aria esterna ha un valore compreso entro un certo intervallo di temperatura (generalmente 1 K) centrato su un valore intero di temperatura. Il calcolo dei bin è riferito ad una condizione media per la zona climatica considerata, secondo quanto suggerito dalla norma UNITS 11300-4, che indica un metodo di calcolo basato su una distribuzione normale della temperatura dell'aria esterna, consentendo di calcolare il profilo bin di una specifica località. I dati di input per questo metodo sono i valori medi mensili della temperatura media giornaliera (forniti dalla UNI 10349), la temperatura esterna di progetto (secondo la UNI EN 12831) e la radiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale (dati forniti dalla UNI 10349).

Per ogni intervallo di temperatura, il prodotto delle due grandezze sopra descritte (bin e potenza termica necessaria) fornisce la quantità di energia da fornire. Imponendo che il fabbisogno energetico stagionale per riscaldamento sia la somma dei prodotti effettuati sull'arco di temperature compreso tra quella di

progetto e quella di spegnimento impianto si ricava la potenza termica corrispondente alla temperatura di progetto, ovvero l'ordinata massima della retta che descrive la firma energetica semplificata. In tal modo è completamente definita la potenza termica in funzione della temperatura esterna.

La Figura 2 illustra, a titolo esemplificativo, il risultato per la zona climatica B, riportando nello stesso grafico la potenza e il numero dei bin per ciascun intervallo di temperatura.

Per calcolare la potenza termica oraria necessaria in un giorno invernale di riferimento si deve ricavare il profilo di temperatura del giorno medio invernale. L'andamento della temperatura esterna di riferimento per la stagione invernale è scelto considerando 4 giorni caratteristici determinati all'interno del mese di Gennaio in modo che abbiano una temperatura media il più possibile vicina a quella fornita dalla norma UNI 10349 (ovvero: valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna) per il suddetto mese. In questo modo si minimizza l'influenza della variabilità termica dello specifico anno a cui i dati fanno riferimento. L'impiego di 4 giorni anziché di un solo giorno tipico consente di tener conto anche della variabilità del profilo giornaliero che, anche a parità di valore medio, può subire oscillazioni a seconda di vari fattori. I dati di riferimento sono ricavati dagli archivi meteo disponibili presso varie Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente.

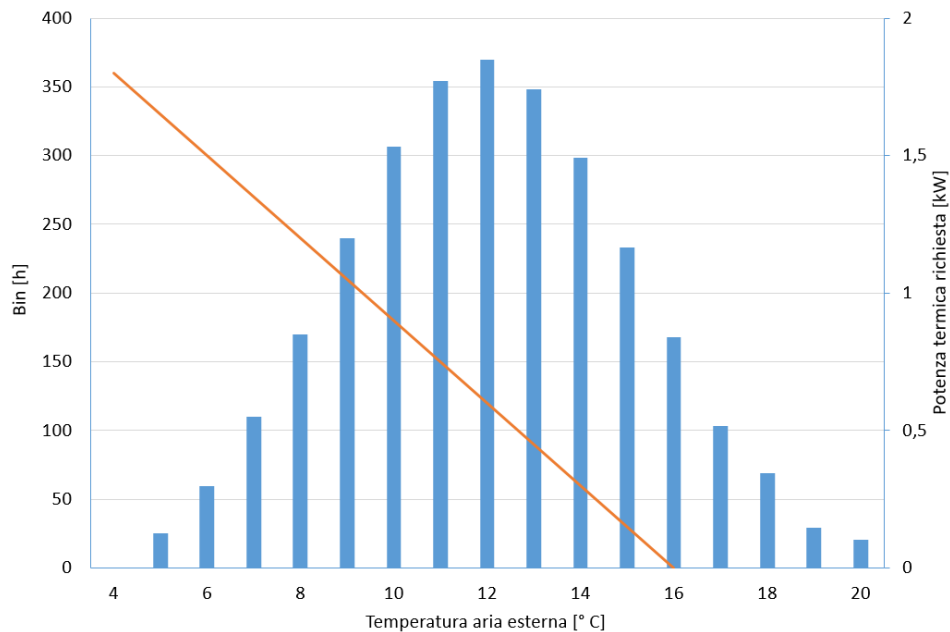


Figura 2 -- Andamento dei bin e della potenza termica per una località in zona climatica B

Dall'andamento della temperatura esterna si ottiene l'andamento della potenza termica tramite la funzione prima ricavata.

Il passaggio finale consiste nel calcolare la media, per ogni intervallo orario considerato, delle potenze risultanti nei quattro giorni considerati, ottenendo come risultato finale l'andamento della potenza termica media necessaria per soddisfare il fabbisogno di riscaldamento dell'abitazione considerata, dato il fabbisogno complessivo stagionale e la zona climatica. In Figura 3 si illustra il risultato come prodotto dal foglio di calcolo, sia in forma tabellare che grafica.

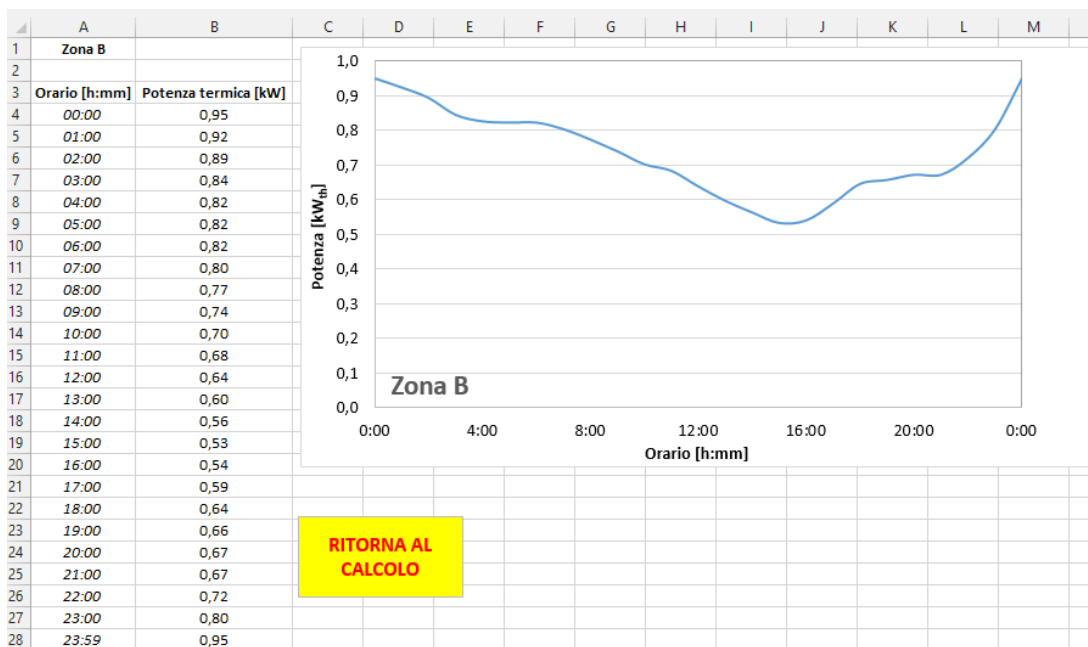


Figura 3 – Interfaccia utente con i risultati

La Figura 4 illustra schematicamente i vari passaggi sopra descritti.

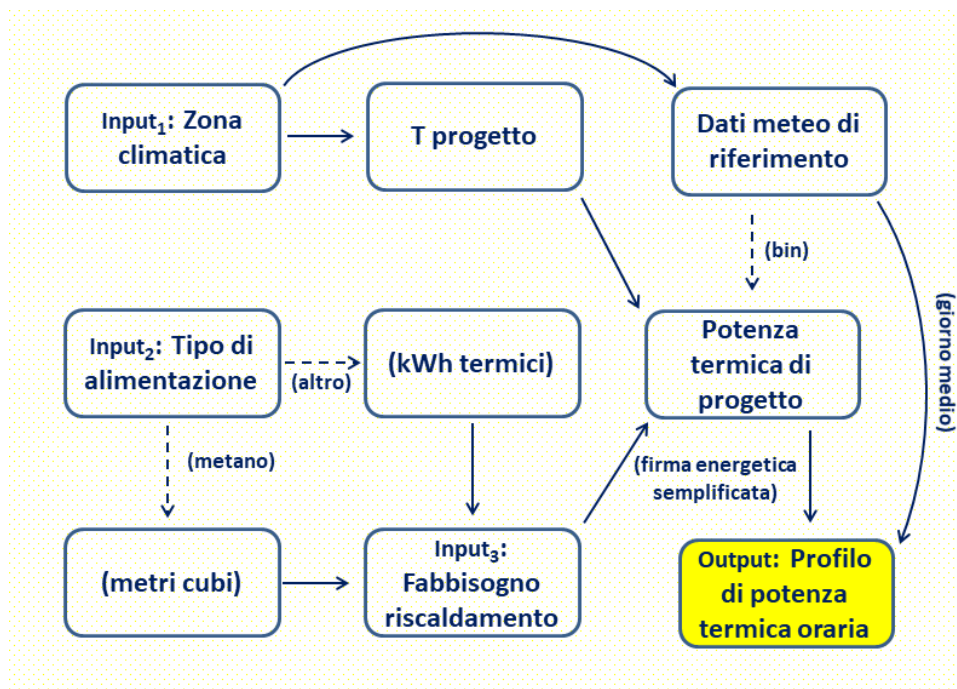


Figura 4 – Diagramma di flusso per il calcolo della potenza termica oraria

2.2 Descrizione del foglio di Calcolo VAN

Il foglio di calcolo fornisce un calcolo del VAN di un impianto termico per riscaldamento residenziale e produzione acqua calda sanitaria (ACS), consentendo, in particolare di confrontare i VAN di impianti in pompa di calore (aria-acqua) e con caldaia a gas a condensazione.

Il VAN è definito come la somma delle entrate e delle uscite monetarie di un investimento al momento attuale (ovvero il flusso di cassa) calcolate per un certo arco temporale e attualizzate secondo un tasso di sconto fissato; esso è generalmente impiegato per analizzare la redditività di un investimento o di un progetto. In questo caso, poiché un sistema di riscaldamento non produce reddito di per sé, si impiega tale metodo per confrontare tra loro le alternative analizzate. Infatti, tutti i valori dei VAN calcolati saranno negativi e l'investimento più vantaggioso sarà quello corrispondente al più piccolo valore assoluto, ovvero quello meno negativo.

2.2.1 Dati di input per il calcolo del VAN e interfaccia grafica

I dati di input richiesti riguardano:

- la prestazione energetica della pompa di calore, intesa come classe di efficienza energetica secondo la classificazione del Reg. EU 811/2013 (A++ o A+ per la modalità riscaldamento e A+ o A per la modalità produzione ACS. Sono stati considerati gli accoppiamenti di tipo A++/A+, A++/A e A+/A);
- la zona climatica della località alla quale si riferisce il calcolo;
- il tempo di calcolo dell'investimento, generalmente coincidente con la vita utile della macchina, ovvero 15 anni
- il tasso annuale di attualizzazione, legato al costo del denaro
- il tipo di detrazione (65%, 110%, 110% con sconto immediato in fattura; detrazioni in vigore a Febbraio 2021)
- il fabbisogno annuo per riscaldamento e produzione ACS. Nel caso in cui il generatore termico da sostituire è una caldaia a gas naturale, il fabbisogno termico può essere ricavato indicativamente dalla lettura della bolletta dell'utenza gas, che fornisce il suo consumo in metri cubi. In questo caso si inserisce nel foglio di calcolo direttamente il valore del consumo di gas espresso in metri cubi. Se il generatore termico è di altra natura (caldaia a gasolio, gpl, biomassa), è necessario risalire, attraverso il consumo annuo di combustibile impiegato, al valore di fabbisogno in kWh termici, che dovrà essere inserito nel foglio di calcolo. Finché non viene effettuata la scelta relativa al tipo di alimentazione del riscaldamento attualmente impiegato è visualizzato un messaggio che ricorda di scegliere dal relativo menu a tendina l'opzione "metano" o "altro".

L'interfaccia utente si presenta come in Figura 5.

	A	B	C	D	E	F
1	Istruzioni per l'impiego del calcolatore					
2	Il foglio calcola il VAN* di un impianto termico per riscaldamento residenziale e produzione acqua calda sanitaria (ACS)					
3	Si possono calcolare e confrontare i VAN di impianti in pompa di calore e caldaia a condensazione a gas					
4	*VAN: valore attuale netto, rappresenta la somma dei flussi di cassa negli anni di durata dell'investimento, attualizzati secondo un certo tasso					
5	Poiché l'impiego di un sistema di riscaldamento non produce profitto, il suo valore è negativo					
6	Tra due VAN, a parità di altre condizioni, quello più vantaggioso è quello meno negativo					
7	Classe di prestazione riscaldamento pompa di calore	A++				
8	Classe di prestazione ACS pompa di calore	A+				
9	Zona climatica	Zona B				
10	Alimentazione riscaldamento attuale					
11	Scegliere l'alimentazione per il calcolo del fabbisogno	10264			ANDAMENTO DEL VAN NEL TEMPO	
12	Inserire Tempo di calcolo dell'investimento (anni)	1				
13	Inserire Tasso annuale attualizzazione (%)	1				
14	Detrazione da considerare	65%				
15	VAN PdC	scegliere tipo di riscaldamento				
16	Van Caldaia a condensazione	scegliere tipo di riscaldamento				
17	Nota: il calcolo tiene conto dell'applicazione delle detrazioni in vigore a Febbraio 2021 (65% o 110%)					
18	I costi di energia elettrica e gas si riferiscono ai valori medi delle stagioni invernali del triennio 2018-2020 per il mercato di maggior tutela					

Figura 5 - Interfaccia utente per l'inserimento dei dati

2.2.2 Procedura di calcolo dell'output

Per il calcolo del VAN vengono calcolati il costo di investimento (comprensivo di installazione) e quello di esercizio. Per quanto riguarda il primo, si considera una pompa di calore di taglia diversa (via via crescente all'aumentare dei gradi giorno medi) a seconda della zona climatica, con conseguente aumento del costo iniziale. Se tra i dati di input si inserisce l'opzione con lo sconto in fattura, il costo di investimento si annulla.

Il costo di esercizio è legato al consumo e al costo unitario dell'energia. Il consumo è un dato di input in termini di fabbisogno annuo di energia termica. Nel caso di una pompa di calore, ciò si traduce in un consumo elettrico, dipendente dalla classe di efficienza energetica scelta e dalla zona climatica (a parità di classe di efficienza energetica, si considerano prestazioni decrescenti al crescere dei gradi giorno medi), mentre con una caldaia equivale ad un consumo di gas naturale. Il calcolo del costo unitario dell'energia, determinato come media dei costi delle ultime 3 stagioni invernali (Mercato di maggior tutela: semestri dal 1 ottobre al 31 marzo successivo delle stagioni 2018-19, 2019-20 e 2020-21) tiene conto anch'esso della zona climatica scelta, che influisce sulla taglia della pompa di calore (con conseguente aumento della taglia del contatore elettrico, variabile a seconda della zona climatica: lo si ipotizza di 4,5 kW per le zone B, C e D e di 6 kW per le zone E ed F). Infine, il costo unitario elettrico è determinato come costo marginale, ovvero come quota aggiuntiva rispetto ad una condizione di base di consumo annuo di 2500 kWh con un contatore di 3 kW di potenza.

Per il calcolo del VAN vengono utilizzati i restanti dati di input, ovvero il tempo di calcolo dell'investimento, il tasso annuale di attualizzazione e il tipo di detrazione. Il risultato viene visualizzato nello stesso foglio di calcolo (Figura 6), ma è possibile visualizzare in scheda separata anche gli andamenti dei due VAN dal tempo 0 fino al tempo di investimento (Figura 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Istruzioni per l'impiego del calcolatore							
2	Il foglio calcola il VAN* di un impianto termico per riscaldamento residenziale e produzione acqua calda sanitaria (ACS)							
3	Si possono calcolare e confrontare i VAN di impianti in pompa di calore e caldaia a condensazione a gas							
4	*VAN: valore attuale netto, rappresenta la somma dei flussi di cassa negli anni di durata dell'investimento, attualizzati secondo un certo tasso							
5	Poiché l'impiego di un sistema di riscaldamento non produce profitto, il suo valore è negativo							
6	Tra due VAN, a parità di altre condizioni, quello più vantaggioso è quello meno negativo							
7	Classe di prestazione riscaldamento pompa di calore	A++						
8	Classe di prestazione ACS pompa di calore	A						
9	Zona climatica	Zona D						
10	Alimentazione riscaldamento attuale	Altro						
11	Inserire consumi riscaldamento + ACS (kWh)	10364						
12	Inserire Tempo di calcolo dell'investimento (anni)	12						
13	Inserire Tasso annuale attualizzazione (%)	3						
14	Detrazione da considerare	65%						
15	VAN PdC	-9.187,69 €						
16	Van Caldaia a condensazione	-9.770,47 €						
17	Nota: il calcolo tiene conto dell'applicazione delle detrazioni in vigore a Febbraio 2021 (65% o 110%)							
18	I costi di energia elettrica e gas si riferiscono ai valori medi delle stagioni invernali del triennio 2018-2020 per il mercato di maggior tutela							

**ANDAMENTO DEL VAN
NEL TEMPO**

La pompa di calore è più conveniente della caldaia

Figura 6 – Interfaccia utente con la visualizzazione numerica dei VAN

In Figura 8 è riportato il diagramma di flusso semplificato del calcolo descritto.

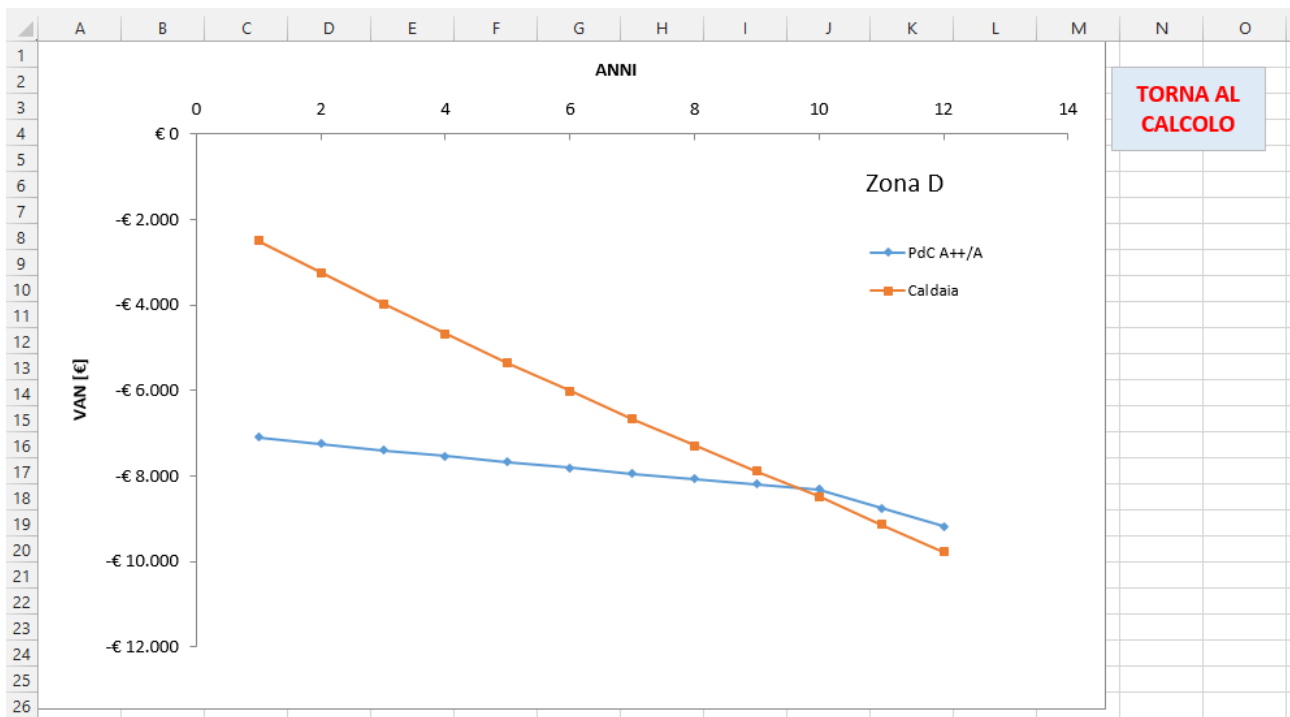


Figura 7 – Andamento dei VAN nel tempo

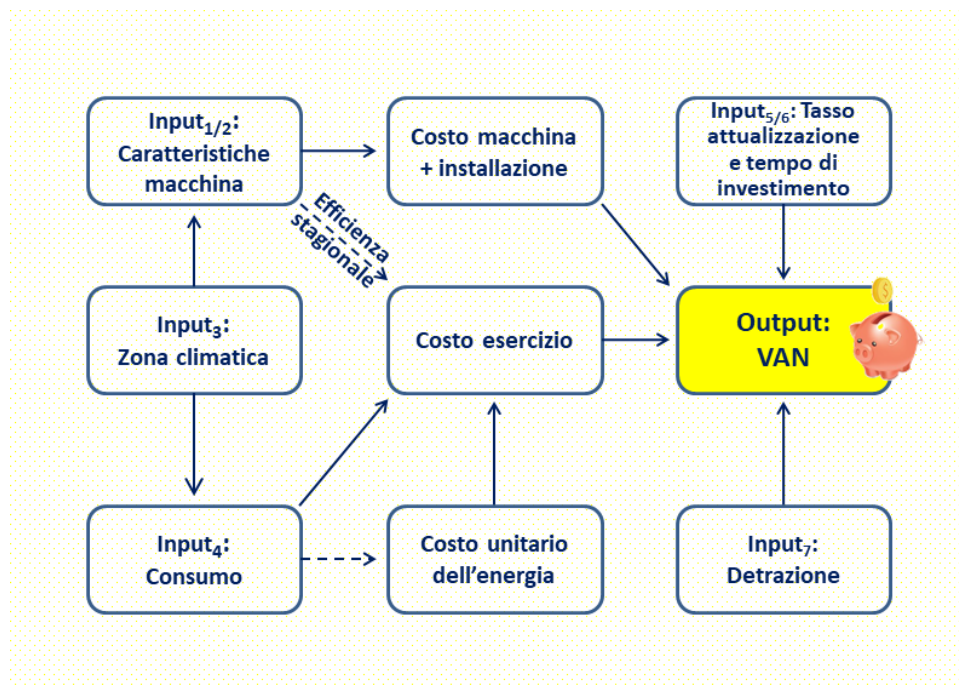


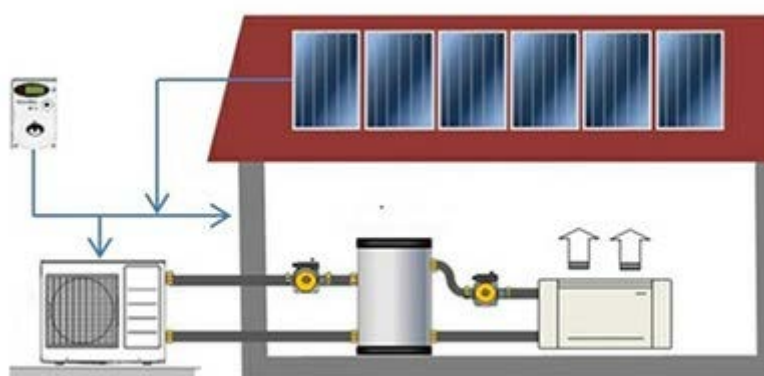
Figura 8 – Diagramma di flusso per il calcolo del VAN

2.3 Diffusione su portale ENEA dei file predisposti

I file sono stati messi disposizione sulla pagina web <https://energia.enea.it/wp-content/uploads/2022/03/Progetto-PdC>, in cui è descritto il progetto “Pompe di Calore” del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021, come di seguito:

Il progetto “Pompe di Calore”, in svolgimento presso il laboratorio TERIN-PSU-IPSE, costituisce il Work Package 3 del progetto 1.7 “Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi Finali” del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico nazionale.

Le pompe di calore (PdC) rappresentano uno strumento prioritario per la sfida alla decarbonizzazione dei consumi nel settore residenziale, in particolare dei consumi per la climatizzazione degli ambienti, grazie allo sfruttamento di risorse rinnovabili quali l’aria, l’acqua e il terreno. Le PdC possono fornire importanti vantaggi energetici ed economici per gli utenti finali e per il sistema paese, poiché possono contribuire in maniera determinante al raggiungimento degli obiettivi del PNIEC al 2030. ENEA, attraverso il progetto “Pompe di Calore”, contribuisce al trasferimento tecnologico e alla diffusione delle PdC con attività di ricerca volte ad individuare le possibili integrazioni con altre tecnologie, quali il solare termico, il fotovoltaico, il geotermico e i sistemi di accumulo di nuova generazione, con l’obiettivo di migliorarne l’eco-compatibilità e l’efficiente applicazione in diversi ambiti climatici



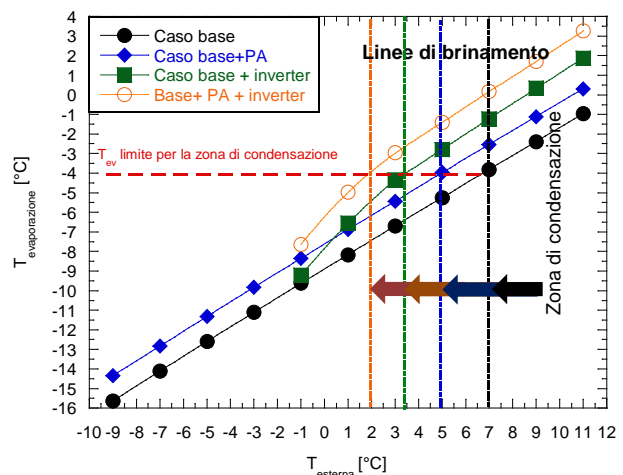
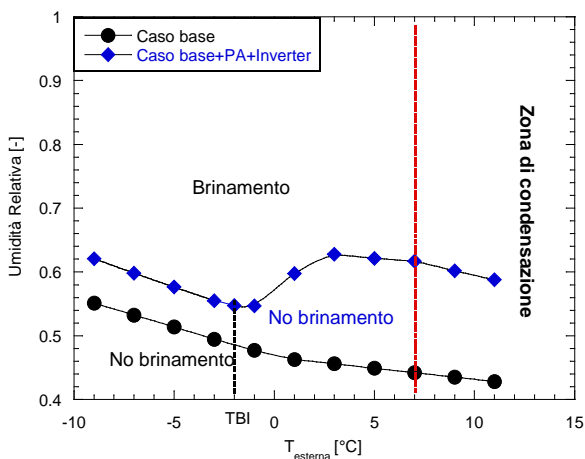
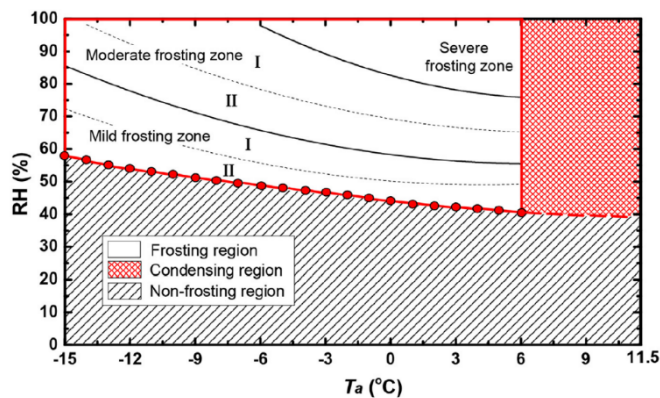
LINEE DI ATTIVITA’

Il progetto si articola su 29 linee di attività (LA) e si sviluppa su tre macrotemi:

- Studi su componenti e cicli di sbrinamento delle PdC;
- Attività di ricerca tecnico-economica su sistemi che integrano le PdC con altre tecnologie (accumuli innovativi, solare, fonte geotermica, ecc.) per incrementarne la flessibilità d’impiego e minimizzare l’utilizzo delle fonti fossili nella climatizzazione residenziale;
- Studi per l’individuazione dei sostituti dei refrigeranti sintetici ad alto GWP (Global Warming Potential) nelle PdC con refrigeranti naturali (tra cui idrocarburi e CO₂) o a basso impatto ambientale.

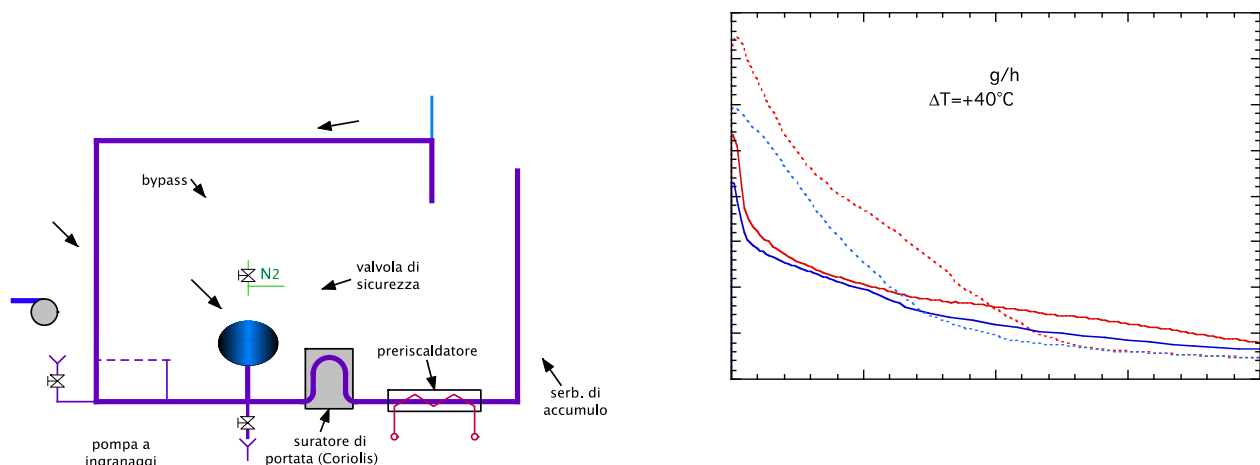
Le attività sui componenti si focalizzeranno sulla sperimentazione degli eiettori, che, utilizzati in sostituzione degli usuali organi di laminazione, possono minimizzare alcune delle perdite energetiche tipiche dei cicli frigoriferi. Su tale versante si procederà all’analisi, modellistica e sperimentale, di sistemi multi-eiettori e delle relative logiche di gestione, in modo da definire una procedura di dimensionamento per questi componenti quando utilizzati specificamente per la climatizzazione. L’ Università degli Studi di Napoli Federico II realizzerà un modello di simulazione per la stima delle prestazioni di macchine con eiettori che impiegano refrigeranti diversi da quelli testati.

Gli studi sullo sbrinamento delle batterie alettate delle PdC aria-acqua hanno l’obiettivo di ridurre le inefficienze delle tecniche attualmente impiegate (che possono influire sullo SCOP fino al 13%) con l’uso di energia da fonte rinnovabile e la razionalizzazione dei flussi termici. Sono stati indagati gli effetti del preriscaldamento dell’aria (PA) e dell’uso dell’inverter del compressore della PdC sull’ampliamento delle condizioni climatiche (temperature e umidità) per le quali si esclude la formazione del ghiaccio sulle batterie alettate degli evaporatori delle PdC.



Studi teorici sulla riduzione dell'area di brinamento al variare della temperatura dell'aria e dell'umidità

Lo sviluppo di sistemi integrati si focalizzerà sull'analisi di impianti complessi di climatizzazione, aventi la pompa di calore come comune denominatore. Tra i componenti del sistema integrato, saranno sperimentati sistemi di accumulo termico innovativi, specifici per temperature medio-basse. La sperimentazione è iniziata su sezioni di prova scalate rispetto ad applicazioni reali e i risultati saranno utilizzati per realizzare sistemi di accumulo innovativi dimensionati per le esigenze dell'utenza e per l'ottimizzazione del sistema, per esempio attraverso la riduzione degli oneri energetici connessi alle necessità di sbrinamento delle batterie alettate.



Schema impianto sperimentale e primi risultati su due sezioni di prova (SDP) con accumuli a PCM tipo A46. La ricerca sui sistemi integrati in pompa di calore prevede anche la realizzazione di un campo geotermico, che dovrà costituire una possibile sorgente termica aggiuntiva alle pompe di calore in test. L'energia prelevata dal campo geotermico, formato da quattro pozzi di diversa profondità (da 85 metri a 35 metri),

potrà essere impiegata sia come fonte rinnovabile primaria per pompe di calore di tipo acqua-acqua, sia come supporto allo sbrinamento di pompe di calore aria-acqua. Le attività sperimentali consentiranno di valutare il corretto dimensionamento del campo e le potenzialità energetiche stagionali di questa sorgente termica grazie a monitoraggi di lungo periodo.



Fasi di realizzazione e strumentazione del campo geotermico presso il C.R. ENEA Casaccia

L'attività sperimentale sui sistemi integrati sarà condotta con modalità dinamica, secondo la logica dell'Hardware in the loop (HiL), che prevede la simulazione di un impianto di riscaldamento reale interfacciato con una utenza simulata da un emulatore fisico.



Componentistica installata sull'HiL per l'interfaccia tra impianto reale e emulatore fisico dell'utenza

La definizione dei fabbisogni energetici orari dell'utenza tipo, che costituisce un dato di input fondamentale per la simulazione dinamica dei sistemi integrati in pompa di calore, è stata effettuata con diversi approcci. ENEA ha sviluppato una procedura di tipo statistico, che ha consentito di definire il fabbisogno termico medio annuo, avvalendosi di dati di letteratura differenziati per tipologia di abitazione, per fascia climatica e per caratteristiche dei gruppi familiari. Il dato del fabbisogno termico medio annuo, così determinato, è stato elaborato come suggerito dalle normative in vigore per determinare i profili di potenza oraria tipici

dell'utenza considerata. La generalizzazione del procedimento implementato può essere applicata in forma generale, a partire da pochi dati di input (fabbisogno termico medio annuo e fascia climatica), a qualsiasi tipologia di utente (link 1).

Su questa tematica, un diverso approccio è stato seguito dall'Università Alma Mater Studiorum di Bologna, che ha sviluppato strumenti s/w (TRNSYS e SIMULINK) per la simulazione dinamica dei carichi termici delle utenze legati alle esigenze di riscaldamento, raffrescamento, ACS, in base alla tipologia di utenza, alle caratteristiche dell'abitazione e alle condizioni climatiche. L'Università di Bologna ha inoltre creato una libreria di componenti SIMULINK e TRNSYS per la modellazione degli impianti polivalenti a pompa di calore (link 2).

Sotto il profilo economico, gli studi in corso hanno consentito lo sviluppo di uno strumento di calcolo in grado di stimare i tempi di ritorno dell'investimento per l'installazione e l'impiego di PdC nelle varie zone climatiche italiane rispetto alla caldaia a condensazione (link 3).

L'attività sui sistemi integrata è completata da un percorso di ricerca sulle PdC integrate ad accumuli strutturali, nella quale ENEA e Università di Pisa svilupperanno strumenti di simulazione dinamica di edifici con PdC e accumuli non convenzionali, che consentano di ottimizzarne le logiche di gestione.

Per quanto riguarda le attività sui refrigeranti a basso GWP, ENEA ha impostato un'attività di ricerca sperimentale per la comparazione delle prestazioni di prototipi di PdC che impiegano refrigeranti diversi (R410A, usato come riferimento, R452B, R454B, R1234ze). L'Università degli Studi di Padova, oltre ad attività di ricerca di base sulla misura dei coefficienti di scambio termico e delle perdite di carico con i refrigeranti a basso GWP, svilupperà un modello del prototipo di PdC per stimarne le prestazioni stagionali a partire dai test sperimentali.

LINK agli STRUMENTI di CALCOLO elaborati durante il progetto

- Calcolo del fabbisogno orario di potenza termica per la climatizzazione delle abitazioni (foglio di calcolo sviluppato nell'ambito del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali", WP3 "Pompe di calore");
- libreria di componenti SIMULINK e TRNSYS per la modellazione degli impianti polivalenti a pompa di calore;
- Calcolo comparativo del tempo di ritorno dell'investimento di installazione di una pompa di calore e di una caldaia (foglio di calcolo sviluppato nell'ambito del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali", WP3 "Pompe di calore").

Per quanto riguarda il link alla libreria di componenti SIMULINK e TRNSYS per la modellazione degli impianti polivalenti a pompa di calore, esso rimanda alla pagina web site.unibo.it/almabuid/it dell'Università Alma Mater Studiorum di Bologna, che consente di accedere alla libreria di ALMABuild, libreria di SIMULINK creata dal team di Applied Thermal Engineering della stessa Università.

2.4 Partecipazione a Congressi ed eventi

2.4.1 International team meeting IEA Annex 34/55 sul 'Comfort Climate Box' (CCB)

Nel mese di febbraio 2020, ENEA ha organizzato l'International team meeting IEA Annex 34/55, sul 'Comfort Climate Box' (CCB), nel quale si è discusso di sistemi in pompa di calore integrati. In particolare, si è discusso degli indicatori di qualità che devono caratterizzare un sistema compatto di tipo CCB e della dipendenza tra essi, per valutare i più importanti a seconda dell'applicazione. Oltre alle caratteristiche costruttive, si è discusso delle possibili soluzioni standard per ogni singola nazione e dello sviluppo di sistemi di controllo della medesima genesi, poi adattabili ad ogni singola applicazione e fascia climatica (ad esempio in base alla taglia della pompa di calore). Sono stati inoltre discussi i temi della standardizzazione dei test per soluzioni CCB.

Il successivo meeting si è tenuto nel mese di giugno 2020 in modalità remota per la diffusione del COVID-19 e si è proseguito nella discussione sulle tematiche sopra elencate.

2.4.2 Partecipazione all'IEA TCP ExCo Meeting on Heat Pumping Technologies – 3 Novembre 2020

In occasione della riunione semestrale dell'Executive Committee (ExCo) del Technical Collaboration Programme (TCP) sulle Heat Pumping Technologies (HPT) dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), il Delegato ENEA per l'Italia ha illustrato lo stato aggiornato della ricerca nell'ambito delle pompe di calore e delle tecnologie correlate, con i contributi di vari stakeholders del settore, sia a livello di ricerca (ENEA, CNR, RSE, EURAC) che di istituzioni accademiche (Università di Padova, Politecnico di Milano, Università Politecnica delle Marche).



Figura 9 – Prima pagina della presentazione del delegato ENEA all'IEA TCP ExCo Meeting on HPT

La riunione, programmata per i giorni 3-5 novembre 2020 a Roma, si è tenuta in modalità online in soli due giorni a causa delle restrizioni dovute alla emergenza sanitaria, ed ha visto coinvolte circa 40 persone collegate dai vari paesi aderenti al TCP, con l'aggiunta di rappresentanti degli enti sopra elencati, ai quali è stata consentita la partecipazione alla sessione informativa della commissione.

Per quanto riguarda la situazione italiana, tra i temi attualmente in fase di studio, debitamente sottolineati nel corso della presentazione, si segnalano i nuovi refrigeranti, l'integrazione di pompe di calore con altre tecnologie e le logiche di controllo per migliorare i profili di carico e l'interfaccia tra utenze elettriche e rete di alimentazione.

L'ExCo ha fornito un favorevole riscontro rispetto alla mole e alla qualità del lavoro svolto in Italia nel settore, al quale spesso non viene dato rilievo adeguato.

2.4.3 Partecipazione ad eventi e congressi

Il personale ENEA ha partecipato in remoto al 14th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. La conferenza è un appuntamento biennale nel settore dei fluidi refrigeranti naturali che, a causa della crescente necessità di mettere in atto contromisure per il riscaldamento globale, sono diventati un mezzo importante per la riduzione dell'impronta di CO2 dei settori della refrigerazione, del riscaldamento e del raffrescamento, con l'obiettivo di consolidare lo sviluppo di soluzioni sostenibili a lungo termine.

Esperti, ricercatori, ingegneri e decisori politici hanno partecipato alla discussione sugli ultimi progressi nel campo dei refrigeranti naturali alla 14a Conferenza IIR-Gustav Lorentzen, programmata dal 7 al 9 dicembre

2020 a Kyoto, Giappone, ma tenutasi in modalità online a causa delle restrizioni per l'emergenza pandemica.

Alcuni dei principali temi di ricerca hanno riguardato:

- studi fondamentali (proprietà termodinamiche e termofisiche dei fluidi refrigeranti)
- sviluppo di sistemi (come pompe di calore, frigoriferi, sistemi di condizionamento), e loro applicazioni.

3 Diffusione su riviste

Per quanto riguarda le pubblicazioni realizzate nel corso del 2020, sono stati pubblicati su Journal of Physics i due lavori seguenti, derivati da quelli presentati al 37th UIT Heat Transfer Conference, tenutasi a Padova da 24 al 26 giugno 2019:

- A new semi-empirical correlation for driving mass-flow rate calculation through ejectors for CO₂ heat pumps. Comparison with predictions of other methods. Journal of Physics: Conference Series 1599 (2020) 012055, doi:10.1088/1742-6596/1599/1/012055
- Experimental analysis of a CO₂ heat pump for instantaneous domestic hot water production, Journal of Physics: Conference Series 1599 (2020) 012059, doi:10.1088/1742-6596/1599/1/012059

E' stato inoltre pubblicato su Energies il documento:

- Thermo-Economic Analysis of a Hybrid Ejector Refrigerating System Based on a Low Grade Heat Source, (Energies 2020, 13, 562; doi:10.3390/en13030562), degli autori G. Lillo, R. Mastrullo, A.W. Mauro, R. Trinchieri e L. Viscito, redatto in collaborazione UNINA-ENEA. L'abstract è il seguente:

The rising of the global energy demand requires the use of alternative energy conversion systems employing renewable sources. In the refrigeration and air conditioning fields, heat driven ejector systems represent a promising way to produce the cooling effect by using available low-grade temperature sources. In this paper, a thermo-economic analysis of a waste heat recovery hybrid ejector cycle (WHRHEC) was carried out. A thermodynamic model was firstly developed to simulate a WHRHEC able to obtain chilled water with a cooling load of 20 kW, by varying the working fluids and the pinch point values in the heat exchangers. Specific single- and two-phase heat transfer correlations were used to estimate the heat transfer surface and therefore the investment costs. The operative ranges that provide a reasonable compromise between the set-up costs and the cycle performances were then defined and compared to the current waste heat-driven technologies, such as absorption chillers and organic Rankine cycles (ORCs) coupled with vapor compression cycles (VCCs). The last part of the paper presents an economic analysis providing the map of the design (plant size) and contingent (specific cost of energy, waste heat availability) variables that lead to the economic convenience of a WHRHEC system when integrated to a conventional VCC plant.

Infine, è stato pubblicato il lavoro seguente:

- "Le pompe di calore per una climatizzazione sostenibile", Focus ENEA, sulla rivista EAI, Energia, ambiente e innovazione (2/2020, DOI 10.12910/EAI2020-051) che tratta il seguente tema:

Le pompe di calore rappresentano uno strumento prioritario per la sfida della decarbonizzazione nell'ambito della climatizzazione, grazie allo sfruttamento delle risorse rinnovabili quali aria-acqua terreno. Esse possono fornire, inoltre, importanti vantaggi energetici ed economici per il sistema Paese, per raggiungere gli obiettivi del Piano Nazionale Clima ed Energia e per gli utenti finali. ENEA contribuisce al trasferimento tecnologico e alla loro diffusione con attività di ricerca volte ad individuare le possibili integrazioni con altre

tecnologie, quali solare termico, fotovoltaico e accumulo, con l'obiettivo di migliorarne l'efficienza e l'eco-compatibilità.

4 Riferimenti

[1] F. D'Annibale, M. Pieve, G. Boccardi, L. Simonetti, R. Trinchieri, Sistemi integrati in pompa di calore: individuazione dei casi studio e simulazione software di sistemi polisorgente con PdC a CO₂, Report RdS/PTR(2019)/024