

Giuliano Cammarata

# IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E VERIFICHE ENERGETICHE

© Copyright Legislazione Tecnica 2022

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

---

Finito di stampare nel mese di dicembre 2022 da

LOGO SRL

Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

---

**Legislazione Tecnica S.r.L.**

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

*Servizio Clienti*

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

[servizio.clienti@legislazionetecnica.it](mailto:servizio.clienti@legislazionetecnica.it)

*Portale informativo:* [www.legislazionetecnica.it](http://www.legislazionetecnica.it)

*Shop:* [ltshop.legislazionetecnica.it](http://ltshop.legislazionetecnica.it)

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

# INDICE

---

<b>INTRODUZIONE</b> .....	13
1. Cenni storici.....	13
2. La progettazione impiantistica pre-crisi energetica.....	14
3. La progettazione impiantistica post-crisi energetica.....	16
4. L'evoluzione della progettazione degli impianti meccanici.....	18
5. I Criteri ambientali minimi (CAM) .....	20
6. Finalità del libro .....	20
6.1 I componenti degli impianti meccanici.....	21
6.2 Strumenti di calcolo per la progettazione .....	22
7. Organizzazione del libro.....	23
7.1 Parte prima .....	23
7.2 Parte seconda .....	24
7.3 Parte terza .....	26

## PARTE PRIMA NOZIONI FONDAMENTALI

Premessa alla Parte prima.....	29
--------------------------------	----

## CAPITOLO 1 - SISTEMI TERMODINAMICI E TRASMISSIONE DEL CALORE

1.1 Le grandezze fisiche fondamentali.....	31
1.1.1 Energia.....	31
1.1.2 Potenza .....	32
1.1.3 Densità .....	32
1.1.4 Pressione .....	32
1.1.5 Viscosità dinamica .....	33
1.1.6 Viscosità cinematica .....	34
1.1.7 Temperatura.....	34
1.1.8 Energia interna di un corpo.....	35
1.1.9 Calore specifico.....	35
1.1.10 Capacità termica .....	36
1.1.11 Potere calorifico .....	37

1.2	Il sistema termodinamico dell'edificio .....	37
1.3	Le grandezze per la trasmissione del calore .....	39
1.3.1	Conducibilità termica.....	40
1.3.2	Convezione termica .....	40
1.3.2.1	<i>Correlazioni adimensionali per la convezione</i> .....	41
1.3.3	Resistenza e trasmittanza termica.....	43
1.3.4	Scambi termici radiativi .....	46

## **CAPITOLO 2 - IL COMFORT TERMOIGROMETRICO**

2.1	L'interazione edificio-uomo .....	49
2.2	Le condizioni di comfort termico.....	49
2.2.1	L'equazione del benessere di Fanger.....	50
2.2.2	Le condizioni per il benessere termico .....	54
2.2.2.1	<i>Osservazioni sulla temperatura di comfort</i> .....	57
2.2.2.2	<i>La temperatura operativa</i> .....	58
2.2.3	Il nuovo diagramma del benessere ASHRAE.....	58

## **CAPITOLO 3 - ENERGETICA DEGLI EDIFICI**

3.1	Il comportamento termico degli edifici.....	60
3.2	Il regime stazionario degli edifici .....	61
3.3	Il transitorio termico degli edifici.....	63
3.3.1	Il regime periodico stabilizzato .....	64
3.3.1.1	<i>Caso della parete di spessore seminfinito</i> .....	64
3.3.1.2	<i>Caso della parete con spessore finito</i> .....	68
3.3.2	Riscaldamento e raffreddamento di un corpo omogeneo.....	69
3.3.3	Importanza della costante di tempo dell'edificio .....	74
3.3.3.1	<i>Valutazione della costante di tempo di un edificio</i> ...	77
3.3.3.2	<i>Valutazione della costante di tempo di un pavimento radiante</i> .....	77
3.3.3.3	<i>Inerzia termica dei radiatori</i> .....	79
3.4	Parametri per il carico termico degli edifici .....	79
3.4.1	La temperatura aria-sole.....	80
3.4.2	Qualità termofisiche delle finiture superficiali.....	82
3.4.3	Pareti con intercapedine d'aria .....	83
3.4.4	Effetto serra negli edifici.....	84
3.5	Sistema edificio-impianto e bilanci energetici .....	86
3.5.1	Accumulo termico ed effetti sul transitorio termico .....	88
3.6	Considerazioni energetiche degli edifici.....	88
3.6.1	Azione di un impianto di riscaldamento .....	91

3.7	Il calcolo dinamico degli edifici .....	92
3.7.1	Il modello dinamico secondo le norme UNI EN 52016 e 52017 .....	96
3.7.2	I bilanci energetici delle pareti.....	98
3.7.2.1	<i>Esempio di risultati con il modello dinamico</i> .....	99
3.7.3	Osservazioni sul modello dinamico.....	101

## **CAPITOLO 4 - IL PROGETTO DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO**

4.1	Le specifiche di progetto .....	104
4.2	Le zone termiche.....	104
4.3	Caratterizzazione delle zone climatiche.....	105
4.4	Il calcolo dei carichi termici .....	106
4.4.1	Il carico termico invernale di progetto .....	107
4.4.2	I ponti termici.....	110
4.4.2.1	<i>Esempio di calcolo agli elementi finiti di un ponte termico</i> .....	112
4.4.3	Considerazioni sul carico di picco.....	115
4.5	I componenti del carico termico .....	116
4.5.1	Il calcolo dei ponti termici.....	120
4.6	La scelta della tipologia impiantistica .....	123
4.7	Efficienza di impianto .....	123
4.8	Le sezioni di un impianto di riscaldamento .....	125
4.9	Schematizzazione della soluzione impiantistica .....	126
4.9.1	Impianti che utilizzano solo acqua .....	127
4.9.2	La centrale termica .....	129
4.9.3	Impianti che utilizzano aria.....	129
4.9.4	Unità di trattamento aria (UTA) .....	132
4.9.5	Impianti misti aria-acqua .....	134
4.10	La selezione dei componenti di impianto .....	134
4.10.1	Gli esecutivi di progetto .....	135
4.10.2	Gli esecutivi di cantiere per i componenti di impianto .....	136
4.11	Il dimensionamento delle reti di distribuzione .....	136
4.11.1	Scelta della differenza di temperatura di progetto.....	137
4.11.2	Relazioni per l'energia trasportata dai circuiti .....	138
4.12	La codificazione della tipologia impiantistica .....	143
4.13	Gli impianti meccanici.....	145
4.14	Gli impianti di riscaldamento .....	149
4.15	Le fasi progettuali degli impianti meccanici.....	149

PARTE SECONDA  
I COMPONENTI DI UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Premessa alla Parte seconda ..... 153

**CAPITOLO 5 - LE CALDAIE**

5.1 Breve storia delle caldaie ..... 155

5.2 Le caldaie e i fattori di energia primaria ..... 157

5.3 Tipologie di caldaie..... 158

    5.3.1 Caldaie a modulazione di fiamma..... 159

    5.3.2 Caldaie a temperatura scorrevole..... 159

    5.3.3 Caldaie a condensazione..... 160

5.4 Tipologie di combustibili ..... 162

    5.4.1 Generatori a gasolio..... 163

    5.4.2 Generatori a gas ..... 164

    5.4.3 Caldaie a biomassa ..... 166

    5.4.4 Innovazioni future: le caldaie per la decarbonizzazione ..... 168

    5.4.5 Criteri di selezione di una caldaia ..... 169

5.5 Le centrali termiche ..... 173

    5.5.1 Installazione delle caldaie ..... 175

**CAPITOLO 6 - LE POMPE DI CALORE**

6.1 Importanza delle pompe di calore ..... 176

6.2 Termodinamica delle pompe di calore ..... 177

    6.2.1 Sistemi innovativi per migliorare l'efficienza delle pompe di calore..... 180

6.3 Efficienza media stagionale e classificazione delle pompe di calore 181

    6.3.1 I regimi variabili ..... 183

    6.3.2 Le zone climatiche europee e la definizione delle temperature bivalenti ..... 184

    6.3.3 Le prestazioni di una pompa di calore ..... 185

6.4 Le pompe di calore idroniche ..... 186

    6.4.1 Punto di equilibrio o temperatura bivalente ..... 187

    6.4.2 Sbrinamento delle pompe di calore ..... 190

    6.4.3 Decadimento del COP delle pompe di calore..... 191

    6.4.4 Metodi per incrementare le prestazioni delle pompe di calore ..... 192

    6.4.5 Utilizzo delle pompe di calore al variare delle zone climatiche ..... 193

6.4.6	Convenienza delle pompe di calore rispetto alle caldaie.....	193
6.4.7	Problematiche nell'utilizzo delle pompe di calore .....	194
6.4.8	Unità con modulo idronico incorporato .....	196
6.4.9	Funzionamento in free cooling.....	197
6.4.10	La selezione della pompa di calore .....	197
	6.4.10.1 Dimensionamento della pompa di calore per l'ACS .....	201
6.4.11	Criteri di progetto degli impianti con pompa di calore idroniche .....	201
6.4.12	La classificazione delle pompe di calore .....	202
6.4.13	La regolazione delle pompe di calore idroniche.....	204
6.4.14	Influenza dell'accumulo termico per le pompe di calore idroniche .....	204
6.4.15	Applicazioni della pompa di calore idronica .....	205
6.4.16	Utilizzo delle pompe di calore con integrazione solare .....	206
6.4.17	Funzionamento per il riscaldamento di ambienti - I sistemi misti .....	207
	6.4.17.1 Utilizzo di generatori supplementari.....	207
	6.4.17.2 Utilizzo dell'energia geotermica .....	208
6.4.18	Gli impianti idronici .....	209
6.4.19	I sistemi polivalenti .....	210
	6.4.19.1 Selezione di un gruppo polivalente .....	212
6.4.20	I sistemi polivalenti modulari .....	214
	6.4.20.1 Il dimensionamento degli accumuli termici per i sistemi polivalenti .....	216
	6.4.20.2 Progettazione dei sistemi idronici con pompe di calore.....	216
6.4.21	I sistemi ibridi caldaia - pompa di calore .....	217
6.4.22	Osservazioni sui sistemi misti .....	220
6.4.23	Pompe di calore ad alta temperatura .....	222
6.4.24	Sistemi ibridi compositi.....	225
6.5	I sistemi ad espansione diretta.....	226
6.5.1	Sistemi split o sistemi ad espansione diretta .....	227
6.5.2	Impianti ad espansione diretta del tipo VRF e VRV.....	231
6.5.3	Riscaldamento e raffrescamento con sistemi ad espansione diretta.....	234
6.5.4	Produzione di ACS con sistemi ad espansione diretta .....	235
6.5.5	Possibilità di alimentare una rete idronica con sistemi a ED	236

6.5.6	Scelta delle unità ad espansione diretta .....	237
6.5.7	Sistemi ad espansione diretta modulari .....	238
6.5.8	Progettazione dei sistemi ad espansione diretta .....	238
6.5.9	Confronto fra sistemi ad espansione diretta e sistemi idronici .....	240

## **CAPITOLO 7 - I RADIATORI**

7.1	Il funzionamento dei radiatori .....	241
7.1.1	L'evoluzione dei radiatori .....	245
7.2	La scelta dei radiatori .....	246
7.3	La valvola termostatica.....	249
7.3.1	Tipologie di valvole termostatiche.....	250
7.3.2	Valvole termostatiche e condensazione .....	251
7.3.3	Valvole termostatiche e contabilizzazione individuale .....	252
7.3.4	La selezione delle valvole termostatiche .....	253
7.3.5	Controllo a distanza del funzionamento dei radiatori.....	254

## **CAPITOLO 8 - I PANNELLI RADIANTI**

8.1	Il funzionamento dei pannelli radianti.....	255
8.1.1	Il progetto dei pannelli radianti .....	259
8.1.2	Tabelle di calcolo semplificate .....	260
8.1.3	L'utilizzo di CAD per pavimenti radianti .....	263
8.1.4	Il raffrescamento con pannelli radianti .....	264
8.1.5	La copertura dei carichi termici dei pannelli radianti.....	265
8.1.6	Il controllo dell'umidità nei sistemi a pannelli radianti .....	267
8.1.7	Utilizzo del doppio impianto .....	268
8.1.8	Pannelli radianti a parete o a soffitto .....	268
8.1.9	Il comfort termico dei sistemi a pannelli radianti.....	270

## **CAPITOLO 9 - I TERMOVENTILCONVETTORI**

9.1	Terminali ad alte prestazioni .....	271
9.2	Termoconvettori - fan coil.....	271
9.3	Termoventilconvettori - fan coil .....	272
9.3.1	Tipologie di fan coil .....	274
9.3.2	La scelta dei termoventilconvettori.....	274
9.4	Le unità di trattamento aria (UTA) .....	279
9.4.1	La scelta dell'UTA .....	280
9.4.2	I componenti interni all'UTA .....	281

9.5	Bocchette e diffusori.....	282
9.5.1	La selezione delle bocchette o dei diffusori .....	283

## **CAPITOLO 10 - LE APPARECCHIATURE DI SICUREZZA**

10.1	Il vaso di espansione .....	284
10.1.1	Vasi di espansione aperti.....	285
10.1.2	Vasi di espansione chiusi .....	286
10.1.3	La scelta del vaso di espansione.....	288
10.2	La valvola di sicurezza.....	289
10.2.1	La scelta delle valvole di sicurezza.....	290
10.2.2	Il corretto montaggio delle valvole di sicurezza .....	291
10.3	La valvola di scarico termico .....	292
10.3.1	La scelta della valvola di scarico termico.....	295
10.4	La valvola di intercettazione del combustibile .....	295

## **CAPITOLO 11 - LE RETI TECNOLOGICHE DI DISTRIBUZIONE**

11.1	I circuiti ad acqua - idronici .....	298
11.1.1	La pompa di circolazione .....	299
11.1.1.1	<i>La scelta della pompa di circolazione .....</i>	<i>300</i>
11.1.2	I collettori di centrale.....	301
11.1.3	I separatori idraulici.....	301
11.2	I criteri di progetto delle reti idroniche.....	303
11.2.1	Le portate dei rami terminali .....	304
11.2.2	Le metodologie di progetto delle reti idroniche.....	306
11.2.3	Le equazioni disponibili.....	306
11.2.4	Il metodo a perdita specifica di pressione costante .....	309
11.2.5	L'algoritmo di calcolo a $\psi = \text{cost}$ .....	311
11.2.6	Gli strumenti di progettazione delle reti idroniche.....	313
11.3	I circuiti per la distribuzione dell'aria - Le reti aerauliche.....	313
11.3.1	I rami delle reti aerauliche.....	314
11.3.2	I circuiti.....	315
11.4	Le metodologie di progetto delle reti aerauliche.....	316
11.4.1	Le equazioni disponibili.....	316
11.4.2	Il metodo a perdita specifica di pressione costante .....	319
11.4.3	L'algoritmo di calcolo a $\psi = \text{cost}$ .....	322
11.4.4	Gli strumenti di progettazione automatizzata .....	326
11.5	Le unità di trattamento aria (UTA) .....	326
11.5.1	La scelta dell'UTA.....	326

11.5.2	La selezione delle batterie di riscaldamento.....	328
11.5.3	La selezione del ventilatore .....	329
11.6	Considerazioni sulla rumorosità degli impianti .....	330

## **CAPITOLO 12 - GLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE**

12.1	La qualità dell'aria.....	332
12.1.1	La classe di permeabilità dei serramenti .....	333
12.2	La ventilazione degli ambienti chiusi .....	333
12.3	Gli impianti di climatizzazione aeraulici .....	334
12.4	La ventilazione naturale.....	342
12.4.1	Il calcolo della portata d'aria di ventilazione naturale .....	345
12.5	La ventilazione meccanica .....	345
12.6	La qualità dell'aria secondo la norma UNI EN 16798:2019.....	346
12.7	Regole pratiche per la distribuzione dell'aria.....	347
12.8	I recuperatori di calore .....	348
12.8.1	Recuperatori con scambiatori rigenerativi .....	349
12.9	Il preriscaldamento dell'aria di rinnovo .....	351

## PARTE TERZA VERIFICHE ENERGETICHE E SUPERBONUS

Premessa alla Parte terza.....	355
--------------------------------	-----

## **CAPITOLO 13 - LA VERIFICA ENERGETICA DEGLI EDIFICI**

13.1	Le fasi della verifica energetica .....	357
13.1.1	La normativa di riferimento per la verifica energetica.....	358
13.2	La verifica energetica secondo il D.M. 26 giugno 2015.....	359
13.2.1	Le conseguenze delle verifiche energetiche .....	362
13.2.2	L'edificio di riferimento .....	364
13.2.3	Schema di riferimento per l'applicazione del D.M. 26 giugno 2015.....	367
13.2.3.1	<i>Il calcolo del fabbisogno energetico di involucro (Net Delivered) .....</i>	368
13.2.3.2	<i>Il fabbisogno di energia primaria dell'edificio ...</i>	368
13.2.3.3	<i>La prestazione energetica globale .....</i>	370
13.2.3.4	<i>Area solare estiva equivalente .....</i>	372
13.2.4	Le verifiche richieste dal D.M. 26 giugno 2015.....	374
13.3	L'obbligo delle FER (D. Leg.vo 199/2021).....	375

13.3.1	Il D. Leg.vo 199/2021, Allegato I.....	375
	13.3.1.1 <i>Il calcolo della quota di energia rinnovabile</i> .....	375
13.3.2	Il D. Leg.vo 199/2021, Allegato II.....	377
13.3.3	Il D. Leg.vo 199/2021, Allegato III.....	377
	13.3.3.1 <i>Giacitura dei pannelli fotovoltaici o collettori solari termici</i> .....	378
	13.3.3.2 <i>Impossibilità tecnica di ottemperare agli obblighi sopra esposti</i> .....	379
	13.3.3.3 <i>Differenza con il metodo previsto dal D. Leg.vo 28/2011</i> .....	380
	13.3.3.4 <i>Modalità di verifica</i> .....	381
13.3.4	Il D. Leg.vo 199/2021, Allegato IV - Requisiti minimi per gli impianti a fonti rinnovabili per il riscaldamento e il raffrescamento .....	381
	13.3.4.1 <i>Requisiti minimi per gli impianti che non accedono ad incentivi</i> .....	381
	13.3.4.2 <i>Requisiti minimi per gli impianti che accedono ad incentivi</i> .....	382
13.4	La verifica della quota rinnovabile per il Superbonus.....	386
	13.4.1 L'utilizzo delle pompe di calore.....	387
13.5	La certificazione energetica degli edifici .....	388
	13.5.1 La scala delle classi energetiche e la soglia di riferimento legislativo .....	390
13.6	Strumenti di calcolo per il D.M. 26 giugno 2015.....	393
13.7	Osservazioni sull'utilizzo del software per le verifiche energetiche .....	395

## **CAPITOLO 14 - IL SUPERBONUS PER L'ENERGIA**

14.1	Il Superbonus energia.....	398
14.2	Le condizioni richieste per il Superbonus energia .....	399
	14.2.1 Interventi ammessi e limiti di spesa .....	401
	14.2.2 Problematiche per gli edifici condominiali.....	402
	14.2.2.1 <i>I valori delle trasmittanze per il Superbonus</i> ....	403
	14.2.2.2 <i>Condominio con impianto centralizzato</i> .....	404
	14.2.2.3 <i>Condominio con impianti termoautonomi</i> .....	404
	14.2.3 Sostituzione del generatore termico .....	406
	14.2.4 Uso dei programmi di calcolo per le verifiche Superbonus	407
	14.2.4.1 <i>Osservazione sulla modellizzazione delle centrali termiche</i> .....	408

## **CAPITOLO 15 - I CRITERI AMBIENTALI MINIMI**

15.1	Applicazione dei CAM per i requisiti minimi degli edifici.....	411
15.1.1	Prestazione energetica .....	411
15.1.2	Approvvigionamento energetico .....	413
15.1.3	Disassemblabilità .....	413
15.1.4	Materia recuperata o riciclata .....	413
15.1.5	Applicazione dei CAM agli isolanti per le pareti.....	413
15.2	I CAM e il Superbonus.....	414
15.2.1	La percentuale di riciclato .....	415



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



### 6.4.2 Sbrinamento delle pompe di calore

Il COP di una pompa di calore dipende anche dall'umidità esterna in quanto quest'ultima determina le fermate per inversione termica di sbrinamento dell'evaporatore, cioè dell'acqua che condensa e solidifica sopra le alette dello scambiatore di calore, vedi Figura 6.11.

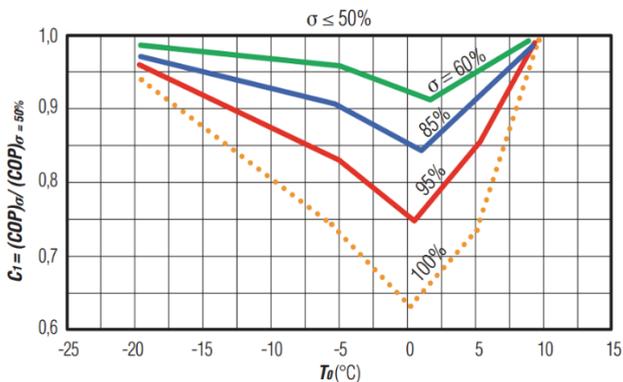


Figura 6.11 - Variazione del COP con l'umidità relativa esterna

L'andamento del COP al variare della temperatura esterna è dato in Figura 6.12.

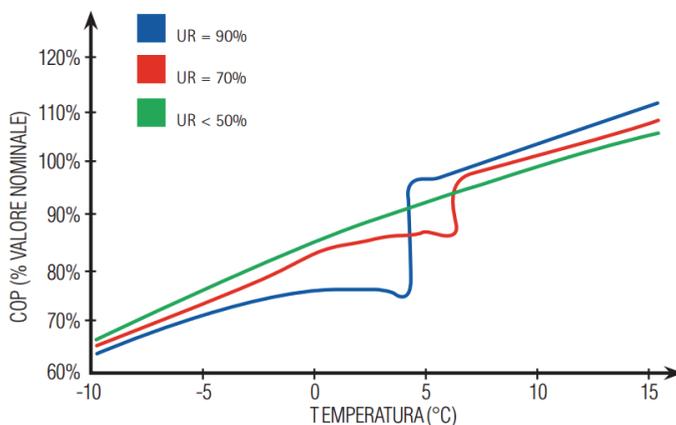
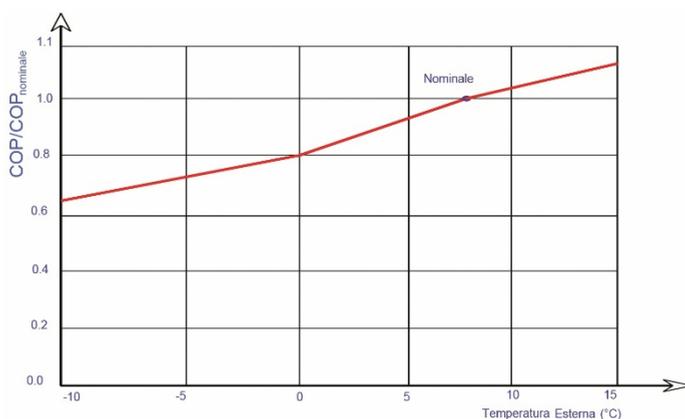


Figura 6.12 - Andamento del COP con la temperatura esterna e l'umidità relativa

### 6.4.3 Decadimento del COP delle pompe di calore

In Figura 6.13 si può osservare come varia il rapporto  $COP/COP_{\text{ nominale}}$  al variare della temperatura di sorgente fredda, in questo caso dell'aria esterna. Si noti come spostandosi verso le basse temperature esterne, cioè verso il *cut-off*, si abbiano perdite di efficienza superiori al 30%. In questi casi occorre utilizzare sistemi con aria miscelata che sposti la temperatura all'evaporatore verso valori più prossimi alla temperatura nominale.



**Figura 6.13** - Variazione del rapporto  $COP/COP_{\text{ nominale}}$  al variare della temperatura esterna

I costruttori indicano la temperatura limite della sorgente fredda, detta temperatura di *cut-off*, delle proprie macchine come variabile fra  $-5$  e  $-10$  °C. In alcuni casi si possono avere macchine in versione speciale per temperature esterne fino a  $-15$ °.

La sensibile riduzione del COP alle basse temperature esterne pone i seguenti problemi:

- l'energia stagionale, calcolata con il metodo Bin indicato dalla UNI TS 11300-4, può non essere sufficiente a soddisfare quella richiesta per il riscaldamento dell'edificio;
- il decadimento del COP è tale da rendere meno efficiente e più energivora la pompa di calore rispetto ai normali generatori termici.

Nel primo caso la UNI TS 11300-4 prevede che si possa associare alla pompa di calore un altro generatore che può essere un'altra pompa di calore, una caldaia o altro sistema di integrazione. In queste situazioni sono utili i sistemi ibridi costituiti dall'accoppiamento di una pompa di calore con una caldaia, vedi paragrafo 6.4.21.



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



### 6.4.22 Osservazioni sui sistemi misti

Questo tipo di generatore, detto ibrido, è nato per cercare di prolungare la vita delle caldaie. Si è già detto che mentre le pompe di calore sono in grado di fornire energia rinnovabile, le caldaie forniscono esclusivamente energia non rinnovabile e questo rende più complessa la verifica del D. Leg.vo 199/2021 e dello stesso D.M. 26 giugno 2015.

La caldaia a condensazione, anche se ad alta efficienza, ha la possibilità di incorporare un generatore istantaneo di ACS, cioè offre un servizio che con l'utilizzo delle sole pompe di calore per ambienti risulta problematico. In quest'ultimo caso si deve ricorrere a scambiatori ad espansione diretta abbinati a serbatoi di accumulo termico, ovvero si richiede l'installazione di pompe di calore dedicate per ACS.

I sistemi ibridi per utenze residenziali sono concepiti, principalmente, per sostituire una caldaia di vecchia generazione con una caldaia a condensazione di 23-27 kW di potenza oppure con una nuova caldaia a condensazione di pari potenza e con gli stessi servizi (riscaldamento e ACS) coadiuvata da una pompa di calore di potenza limitata (6-9 kW) per avere un minimo di energia rinnovabile, come si può osservare nella Tabella 6.11 dove si hanno due possibilità: pompa di calore da 8 kW e caldaia da 26,3 kW o pompa di calore da 8,3 kW e caldaia da 30 kW.

Inoltre, il sistema ibrido richiede l'installazione di due generatori, uno termico ed uno elettrico (vedi Figura 6.28), con le problematiche impiantistiche che questo comporta, specialmente nei casi di sostituzione di generatori vecchi o di refurbishment di impianti esistenti.

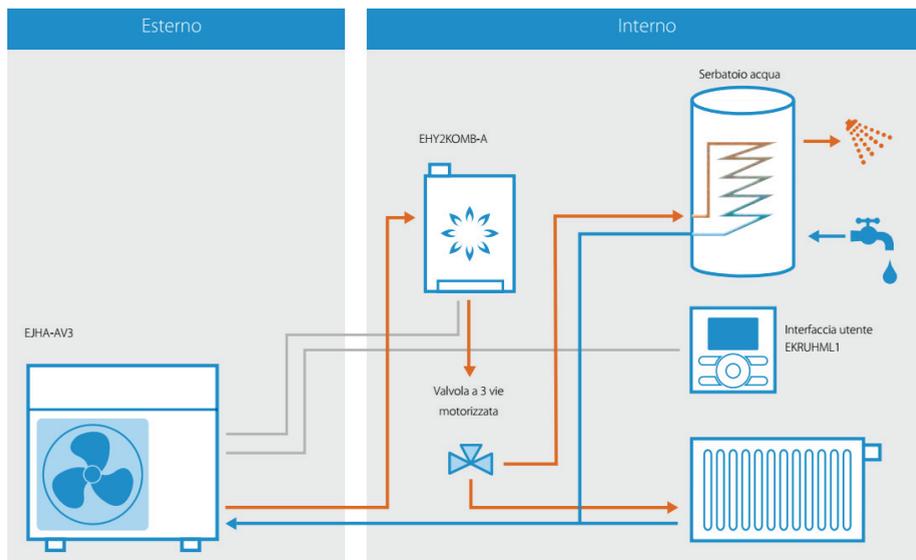
Sia la caldaia a condensazione che la pompa di calore lavorano a bassa temperatura e quindi possono alimentare circuiti con terminali a bassa temperatura (termoconvettori, pannelli radianti o radiatori adeguatamente dimensionati).



**Figura 6.28** - Installazione di un sistema ibrido (fonte: Daikin)

Dati sull'efficienza		EHY2KOMB28AA + EJHA0AAV3		EHY2KOMB32AA + EJHA0AAV3	
Capacità di riscaldamento Nom.	kW		3,83 (1)		
Potenza assorbita	kW		0,85 (1)		
COP			4,49 (1)		
Riscaldamento ambienti climatiche	Generale	SCOP	3,26	3,28	
	condizioni climatiche medie 5°C	ηs (efficienza stagionale per il riscaldamento di ambienti)	127,6	128,1	
	Classe eff. stag. risc. ambienti			A++	
Riscaldamento ambienti climatiche	Generale	SCOP	4,14	4,15	
	condizioni climatiche medie 3°C	ηs (efficienza stagionale per il riscaldamento di ambienti)	162,6	163	
	Classe eff. stag. risc. ambienti			A++	
Riscaldamento dell'acqua calda sanitaria	Generale	Profilo di carico dichiarato		XL	
	Cima	ηwh (efficienza di riscaldamento dell'acqua)		87	
	medio	Classe di efficienza energetica riscaldamento acqua		A	
<b>Unità interna</b>					<b>EHY2KOMB28AA</b>
Riscaldamento centralizzato	Assorbimento di calore (in genere calore netto)	Nom. Min/Max	8,0 / 26,3		<b>EHY2KOMB32AA</b>
	Valore energetico (RSE)	Min/Nom	7,1 / 23,1	7,4 / 26,6	
	Efficienza	Potere calorifico netto 80/60	97	98	
		Potere calorifico netto 37/30 (33%)		> 107	
		Gruppo di trattamento	Min/Max	30 / 90	
Acqua calda sanitaria	Potenza	Min/Nom	7,2 / 25,1	7,5 / 32,7	
	Portata acqua	60°C	7,5	9,0	
		40°C	12,5	15,0	
	Gruppo di trattamento	Nom.		40/65	
Gas	Collegamento	mm		15	
	Diametro	mm		15	
	Consumi(G3)	Min/Max	0,74 / 3,02	0,79 / 3,39	
	Consumi(G5)	Min/Max	0,28 / 1,15	0,30 / 1,19	
Acia immessa	Atacco	mm		100	
	Concentrico			1	
Gas di scarico	Atacco	mm		60	
Rivestimento	Colore			Bianco -RAL9010	
	Materiale			Lamiera prevenicciata	
Dimensioni	Unità	AxLxP			
Distanza tra condizionale-Epdc	Unità	AxLxP	650x450x240	710x450x240	
Peso	Unità	kg	650x450x404	710x450x404	
Alimentazione elettrica	Fase/Frequenza/Tensione	Hz/V	33	36	
Assorbimento elettrico	Max	W	1~/50/230		
	Standby	W	110		
			2		
<b>Unità esterna</b>					<b>EJHA0AAV3</b>
Dimensioni	Unità	AxLxP			
Peso	Unità	kg	745x845x329		
Compressore	Quantità		45		
	Tipo		1		
Campo di funzionamento Refrigerante	Riscaldamento	Min.-Max.	Compressore ermetico tipo Swing		
	GWP		-15-25		
	Carica	kg	R32		
	Carica	kg	675		
	Riscaldamento	dB(A)	0,56		
Pressione sonora	Riscaldamento	dB(A)	0,88		
Alimentazione Corrente	Nome/Fase/Frequenza/Tensione	Hz/V	37		
	Fusibili consigliati	A	V3/1~/50/230-24C		
			20		

Tabella 6.11 - Data sheet per un sistema ibrido (fonte: Daikin)



**Figura 6.29** - Esempio di layout di un sistema ibrido (fonte: Weissmann)

Nelle zone con temperatura esterna invernale al di sotto di  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  il funzionamento della pompa di calore viene ridotto sia per la possibile temperatura di *cut-off* indicata dal costruttore che per la bassa efficienza della pompa di calore.

### 6.4.23 Pompe di calore ad alta temperatura

Nei sistemi ibridi le pompe di calore forniscono acqua calda a temperatura variabile fra  $45$  e  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Per ridurre i problemi di verifica dei terminali dimensionati per  $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (secondo la norma UNI EN 442) e alimentati con generatori a bassa temperatura si può fare ricorso alle pompe di calore ad alta temperatura ( $65-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in modo da avere  $\Delta T = 42-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  e quindi con una riduzione della potenza resa dei terminali di circa il 25-30%.

Spesso i terminali sono sovradimensionati e la riduzione della potenzialità può essere compensata dalla maggiore potenzialità nominale disponibile. Le pompe di calore ad alta temperatura possono essere utilizzate solo per il servizio di riscaldamento o anche per produzione di ACS in contemporanea. In Figura 6.30 si ha un esempio di pompa di calore ad alta temperatura e modulo idronico per un utilizzo multifunzione.



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



# 8

## I PANNELLI RADIANTI

### 8.1 IL FUNZIONAMENTO DEI PANNELLI RADIANTI

In questi ultimi anni si stanno diffondendo gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento a pannelli radianti.

In pratica gli elementi terminali usuali vengono sostituiti da pannelli costruiti mediante tubazioni opportunamente inserite nei pavimenti in modo da formare, appunto, un pannello radiante.

Le tubazioni utilizzate, usualmente in rame o in plastica incrudita, hanno geometrie ben determinate da esigenze di trasmissione del calore. Al di sotto delle tubazioni si pone uno spessore di isolante (variabile da 45 a 60 mm) per evitare che il calore fornito dai tubi si propaghi al di sotto del pavimento.

Il dimensionamento dei pannelli radianti è complesso ed è regolato dalla norma UNI EN 1264:2021 e dalla UNI-CEN 130:2005. In sintesi si procede come segue.

Dal calcolo dei carichi termici dei singoli ambienti di un edificio si ricava il carico specifico per metro quadro di pavimento ( $W/m^2$ ) e si applica la relazione, indicata dalla UNI-CEN 130:

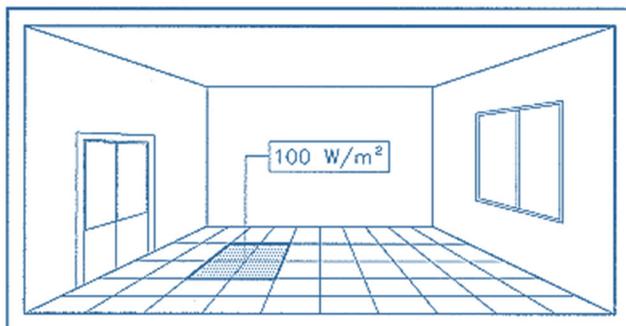
$$q_{max} = 8,92(t_{p_{max}} - t_a)^{1,1} \quad (74)$$

ove si ha:

- $q_{max}$  calore specifico massimo ceduto da un metro quadro di pavimenti, ( $W/m^2$ );
- $t_{p_{max}}$  temperatura massima del pavimento, °C;
- $t_a$  temperatura dell'aria ambiente, °C;
- 8,92 coefficiente di convezione,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

La temperatura massima del pavimento dipende, ovviamente, dalle condizioni di benessere ambientale e devono essere:

- $t_{p_{max}} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$  per zone di normale residenza;
- $t_{p_{max}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$  per zone con residenza saltuaria.



**Figura 8.1** - Potenza specifica massima di un pannello radiante

Assumendo il valore di  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  per residenze civili e sostituendo questo valore nella precedente relazione si ottiene la regola:

$$q_{max} = 8,92 \cdot (29 - 20)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2 \quad (75)$$

Pertanto, se si vogliono mantenere le condizioni di comfort termico, la potenza specifica massima che un metro quadro di pavimento può cedere dev'essere non superiore a  $100 \text{ W/m}^2$ . Da questa osservazione scaturisce la regola pratica che ogni  $\text{m}^2$  di superficie destinata a pannello radiante cede  $100 \text{ W/m}^2$ . Le caratteristiche di un pannello radiante tipo sono di seguito brevemente riasunte.

*Tubazione:*

- conducibilità  $0,035 \text{ W/mK}$  (tubo in plastica tipo Pex);
- diametro interno  $16,0 \text{ mm}$ ;
- diametro esterno  $20,0 \text{ mm}$ ;
- interasse di posa  $7,5 \text{ cm}$ .

*Massetto:*

- conducibilità  $1,0 \text{ W/mK}$ ;
- spessore sopra i tubi  $4,5 \text{ cm}$ .

*Pavimento:*

- non esistente (si considera come piano di calpestio quello del massetto).



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



## 12.4 LA VENTILAZIONE NATURALE

Il movimento dell'aria esterna può essere determinato da una o più delle seguenti condizioni:

- una differenza di pressione fra l'esterno e l'interno dell'edificio;
- una differenza di temperatura fra zone diverse della costruzione o fra una zona interna e l'esterno dell'edificio.

Quando si hanno uno o più *gradienti di potenziale* (pressione e/o temperatura) si può innescare un movimento convettivo. Questi gradienti, singoli o combinati, sono sempre necessari.

Tuttavia, il valore assunto da ciascuno di essi varia in modo aleatorio in funzione del sito, della stagione, delle condizioni meteorologiche, della superficie delle aperture e delle condizioni termiche dell'ambiente interno. Per questi motivi la portata di ventilazione naturale non è quasi mai costante né facilmente prevedibile.

Non possiamo conoscere in anticipo la velocità del vento né la temperatura esterna ma dobbiamo gestire questi fattori così come si presentano nell'arco del giorno e dell'anno con un andamento statistico caratteristico del sito.

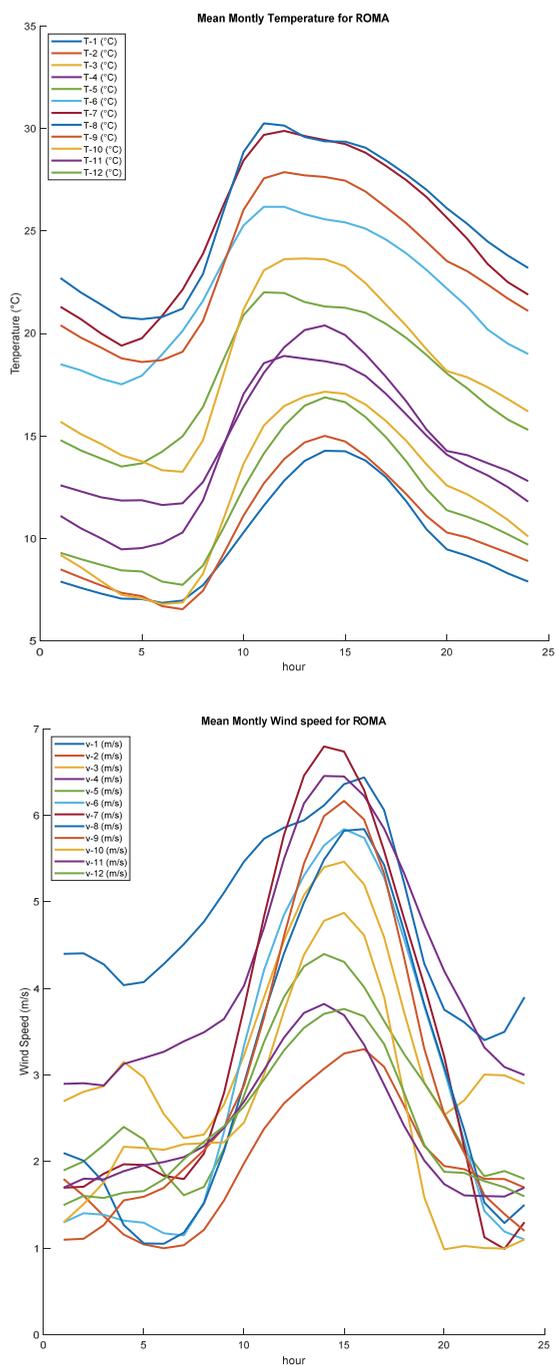
La ventilazione naturale non è controllabile proprio perché legata agli andamenti statistici delle variabili ambientali esterne (clima), contrariamente a quanto avviene per la ventilazione meccanica nella quale il movimento dell'aria è imposto da un dispositivo apposito (ventilatore) perfettamente controllabile e indipendente dalla variabilità climatica esterna.

Le condizioni climatiche favorevoli in alcuni mesi rendono possibili le aperture delle finestre per attivare la ventilazione naturale, specialmente fino ad inizio inverno e dopo l'inizio della primavera. In inverno si è soliti, ove è possibile, aprire le finestre per brevi intervalli per garantire un minimo di ricambio fisiologico.

Pertanto il problema del calcolo dei ricambi d'aria per ventilazione naturale deriva dalla rimarcata aleatorietà delle condizioni climatiche esterne.

La temperatura esterna dipende dal sito, dalla stagione, dal giorno e dall'ora considerata. La variabilità della temperatura esterna è grande con oscillazioni termiche che dipendono dalla zona climatica e dalla stagione.

Utilizzando le tabelle dei dati statistici medi orari giornalieri mensili dell'Italian climatic data collection Gianni De Giorgio-IGDG (vedi la Figura 12.9 per Roma e la 12.10 per Milano) si possono calcolare i valori medi orari giornalieri mensili di  $T$  e  $v$ , interpolati, ad esempio, mediante un algoritmo polinomiale, per i vari mesi dell'anno.



**Figura 12.9** - Valori medi giornalieri mensili di  $T$  e  $v$  per Roma (fonte: IGDG)



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



### 13.2.3 Schema di riferimento per l'applicazione del D.M. 26 giugno 2015

Il D.M. 26 giugno 2015 prevede che sia calcolata prima l'energia necessaria all'involucro,  $Q_{nd}$ , per i servizi desiderati, secondo la UNI TS 11300-1 (vedi Figura 13.1). Questa è l'energia dispersa o ricevuta, a seconda delle stagioni, per effetto dei bilanci energetici di involucro.

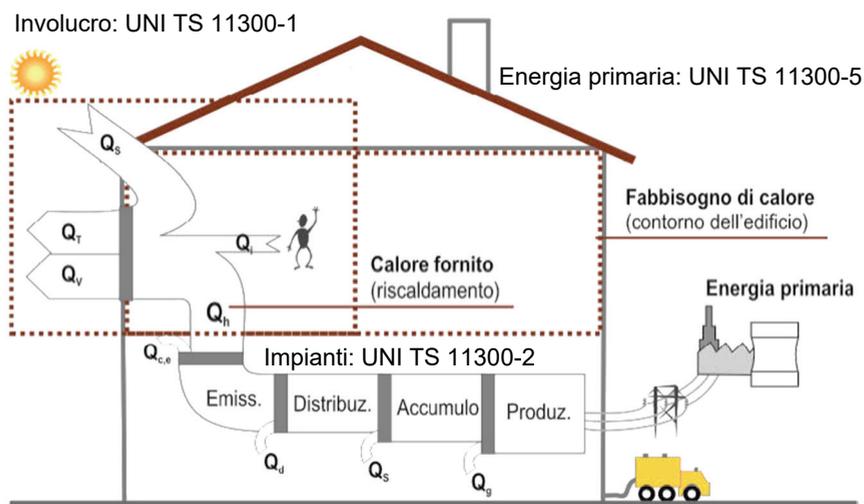


Figura 13.1 - Verifica energetica ed efficienza degli impianti

Per fornire la  $Q_{nd}$  all'edificio occorre avere un impianto che sia caratterizzato dalla sua tipologia impiantistica (caldaia, pompa di calore, terminali, rete di distribuzione e regolazione) con rendimenti calcolati secondo la UNI TS 11300-2.

Infine, la UNI TS 11300-5 permette di calcolare l'energia primaria da fornire all'impianto, suddividendola in rinnovabile e non rinnovabile.

Le norme, complesse e onerose in termini di calcoli, portano a calcolare gli indici di prestazione  $EP$  (Energy Performance) per tutti i servizi richiesti e per tutte le zone termiche dell'edificio, singolo o multiplo. Questi indici debbono poi essere confrontati con i valori limite riferiti ad un edificio di riferimento virtuoso del tutto simile geometricamente all'edificio reale ma con involucro e impianti definiti dalle stesse norme.

### 13.2.3.1 Il calcolo del fabbisogno energetico di involucro (Net Delivered)

Il bilancio di energia termica dello spazio confinato (climatizzato) è dato, per il riscaldamento, dalla relazione:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol,w}) \quad (125)$$

ove ogni termine è espresso in MJ e vale il seguente simbolismo:

- $Q_{H,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento, MJ;
- $Q_{C,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per raffrescamento, MJ;
- $Q_{H,ht}$  scambio termico totale fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;
- $Q_{C,ht}$  scambio termico totale fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;
- $Q_{H,tr}$  scambio per trasmissione fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;
- $Q_{C,tr}$  scambio per trasmissione fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;
- $Q_{H,ve}$  scambio per ventilazione fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;
- $Q_{C,ve}$  scambio per ventilazione fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;
- $Q_{gn}$  guadagni termici totali, MJ;
- $Q_{int}$  guadagni termici interni, MJ;
- $Q_{sol,w}$  apporti termici solari incidenti sui componenti finestrati, MJ;
- $\eta_{H,gn}$  fattore di utilizzazione degli apporti termici;
- $\eta_{C,ls}$  fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Dopo la suddivisione dell'edificio in zone termiche si calcolano, per ciascun mese, i termini delle precedenti equazioni per il riscaldamento.

### 13.2.3.2 Il fabbisogno di energia primaria dell'edificio

In Figura 13.2 si ha una rappresentazione degli scambi energetici possibili fra l'energia primaria e l'edificio attraverso alcune tipologie di impianto abbastanza diffuse.