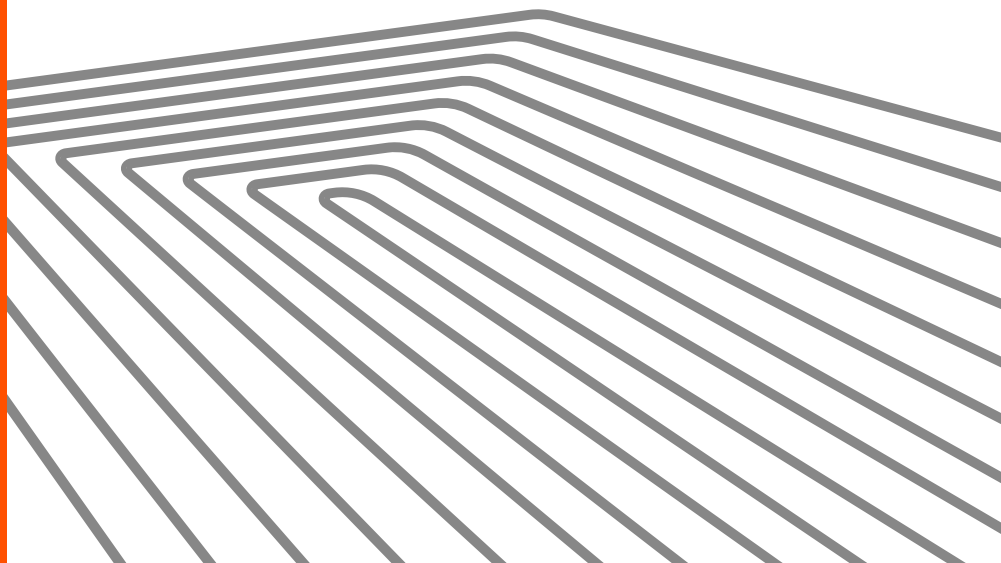


FOCUS ON

**Sistemi radianti a pavimento:
evoluzione normativa
e tecnologica**

un caso di studio



02

Con la collaborazione di:
 **EDILCLIMA**[®]
ENGINEERING & SOFTWARE

 **IVAR**
HYDRONIC COMPONENTS & SYSTEMS

NUOVA VERSIONE EC711 IMPIANTI TERMICI APPARECCHI E TUBAZIONI

**AFFIDABILE COME SEMPRE
ANCORA PIU' PRATICO DA UTILIZZARE:**

- dimensionamento impianti con pannelli radianti a soffitto
- gestione di valvole termostatiche preregolabili
- gestione di compensatori idraulici

E' ARRIVATA LA NUOVA VERSIONE 7 DEL SOFTWARE EC711 PER IL DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI TERMICI, APPARECCHI E TUBAZIONI

EC711 Impianti termici apparecchi e tubazioni è il software specifico per la progettazione efficace di impianti di riscaldamento e raffrescamento con pannelli radianti (a pavimento e a soffitto), a collettori, a due tubi, ad anelli monotubo con valvola a quattro vie e misti.

Una qualità di EC711 molto apprezzata dai progettisti riguarda la capacità del software di gestire, in uno stesso progetto, sia impianti centralizzati che impianti autonomi.

CARATTERISTICHE

La **principale novità** della nuova versione 7 consiste nella possibilità di dimensionare gli impianti con **pannelli radianti a soffitto**, permettendo così al progettista di adottare un approccio decisamente innovativo e sempre coerente: grazie infatti alla possibilità di mettere a confronto più soluzioni il progettista sarà sempre in grado di effettuare la scelta più appropriata.

 **EDILCLIMA®**
ENGINEERING & SOFTWARE

Tra le altre funzionalità caratterizzanti la nuova versione di EC711 figurano le **migliorie apportate all'interfaccia grafica** (allo scopo di migliorarne l'usabilità) ed alcuni importanti **accorgimenti nelle procedure di calcolo**, che rendono il software ancora più pratico da utilizzare.

**VIDEOPILLOLE INTEGRATE
NEL SOFTWARE PER
UN APPRENDIMENTO
RAPIDO ED EFFICACE**



FREE TRIAL



www.edilclima.it

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

1 Introduzione

Pag. 2

2 Quadro normativo

Pag. 2

3 Simulazione di calcolo

Pag. 3

3.1 Tipologia dell'edificio

3.2 Calcolo della potenza invernale

3.3 Calcolo della potenza estiva

3.4 Procedura di calcolo

3.4.1 Definizione dei componenti dell'impianto di distribuzione

3.4.2 Posizionamento dei componenti in planimetria

3.4.3 Scelta delle aree di posa

3.4.4 Predimensionamento tabellare

3.4.5 Disegno dei pannelli

3.4.6 Verifica dei pannelli

3.4.7 Calcolo della rete di distribuzione e regolazione dell'impianto

3.4.8 Valutazione degli elementi principali del locale tecnico

3.4.9 Verifica del sistema in regime estivo

4 Approfondimento: regolazione dei collettori e scelta del modo operativo del circolatore

Pag. 16

5 Considerazioni finali

Pag. 21

Hanno redatto questo numero:



Andrea Gozzi, laureato in ingegneria meccanica presso il Politecnico di Torino, lavora presso Edilclima s.r.l. dal 2008 dove svolge il ruolo di assistenza tecnica ed analisi programmi.



Cristian Pedrotti, laureato in ingegneria meccanica presso l'Università degli Studi di Brescia, dal 2004 lavora in IVAR S.p.A. con il ruolo di R&D Innovation Manager.

1 Introduzione

Negli ultimi anni i sistemi radianti, in particolar modo quelli a pavimento, hanno trovato sempre più impiego in ambito residenziale, specialmente per motivi di comfort, igiene e non invasività. In letteratura esistono molte ed esaurienti trattazioni degli aspetti teorici che caratterizzano questi impianti, mentre sono più rari dei casi studio che possano far riflettere sull'evoluzione normativa e sul suo impatto nella scelta e nel dimensionamento dei componenti.

Il tema di Focus ON 02 nasce da questo: è lo studio di un impianto in ambito residenziale pensato per evidenziare la correlazione tra gli aspetti normativi e impiantistici negli impianti a pannelli radianti a pavimento.

La pubblicazione è completata da una panoramica sulle normative di riferimento relative al calcolo termico e al dimensionamento dell'impianto radiante e da una successiva fase di analisi dei risultati ottenuti con le simulazioni. I contenuti sono infine arricchiti da un interessante approfondimento sulle operazioni di bilanciamento dei collettori e sulla taratura della pompa di circolazione.

2 Quadro normativo

La progettazione di qualsiasi impianto di riscaldamento o raffrescamento richiede come dato di input il calcolo di potenza termica di ogni locale da riscaldare o raffrescare.

Le potenze in riscaldamento devono essere determinate secondo la norma UNI EN 12831. Tale norma fornisce metodi di calcolo delle dispersioni termiche e del carico termico in condizioni di progetto. Essa può essere utilizzata per tutti gli edifici con altezza interna non maggiore di 5 metri, ipotizzati in regime termico stazionario, alle condizioni di progetto.

Le potenze in raffrescamento possono essere determinate secondo il metodo Carrier. Questo consente la valutazione distinta dei carichi termici per irraggiamento solare (attraverso i componenti finestrati) e di quelli per trasmissione (attraverso i componenti opachi o finestrati), dei carichi termici per ventilazione e dei carichi termici interni (derivanti dalla presenza di persone e di macchinari elettrici). Per quanto riguarda i carichi termici per irraggiamento solare attraverso i componenti finestrati, essi possono essere valutati adottando la metodologia relativa ai "fattori di accumulo".

Per il dimensionamento degli impianti radianti a pavimento è possibile utilizzare le seguenti normative:

- **UNI EN 1264.** Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture;
- **UNI EN ISO 11855.** Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati.

Occorre precisare che nella UNI EN ISO 11855 i metodi di calcolo per la determinazione della curva caratteristica sono due: metodo semplificato (uguale a quello previsto dalla norma UNI EN 1264) e simulazioni FEM o FDM.

Vi sono altre normative che riguardano i sistemi radianti, soprattutto a pavimento, dando indicazioni sulla posa in opera delle pavimentazioni in funzione dei materiali utilizzati. In particolare, possono essere di interesse le seguenti normative:

- **UNI 11371.** Massetti per parquet e pavimentazioni di legno - Proprietà e caratteristiche prestazionali;
- **UNI 11493.** Piastrelature ceramiche a pavimento e a parete;
- **UNI 11515.** Rivestimenti resilienti e laminati per pavimentazioni;
- **UNI 11322.** Rivestimenti lapidei per pavimentazioni - Istruzioni per la progettazione, la posa e la manutenzione;
- **UNI EN 13813.** Massetti e materiali per massetti - Materiali per massetti - Proprietà e requisiti.

3 Simulazione di calcolo

Abbiamo scelto come caso studio una villetta completamente indipendente, composta da tre livelli di cui quello al piano terra è riscaldato mentre il piano seminterrato e il sottotetto sono costituiti da locali non riscaldati. La superficie calpestabile è di circa 119 m², mentre il rapporto tra la superficie disperdente e il volume risulta maggiore di 0,9 (valore tipico per questo tipo di edifici). La villetta si trova nel comune di Padova e di conseguenza abbiamo utilizzato una temperatura esterna di progetto di -5 °C. Si tratta quindi di una tipologia di edificio che sarà molto familiare per la maggior parte dei lettori.



Figura 1: simulazione degli ombreggiamenti con software EDILCLIMA EC700.

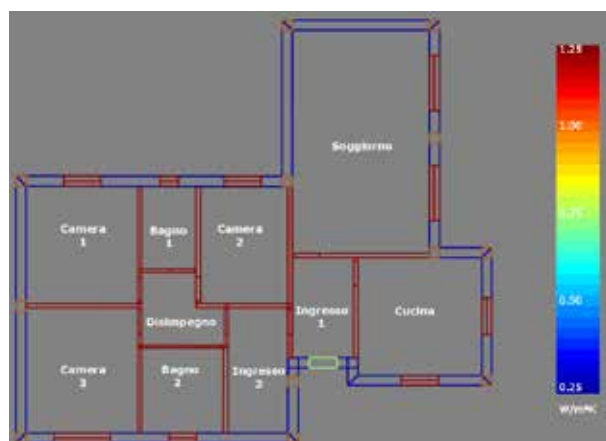


Figura 2: planimetria piano terra riscaldato.

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

3.1 Tipologia dell'edificio

Nella sottostante tabella 1 sono riportate le caratteristiche geometriche principali e le temperature di progetto per tutti i locali della villetta. Occorre subito prestare attenzione alla differenza tra i valori di superficie calpestabile (S_c) e di superficie di posa pannelli (S_p): quest'ultimo valore rappresenta la superficie effettivamente disponibile per la posa dei pannelli che in alcuni casi, ad esempio per i locali ad uso bagno, può essere sensibilmente inferiore rispetto a quella disponibile. La norma UNI EN 12831 consiglia, per il calcolo delle dispersioni dei locali ad uso bagno, una temperatura di progetto di 24 °C. L'insieme di questi due effetti determina una potenza specifica maggiore per i locali ad uso bagno che, come vedremo in seguito, non sempre è gestibile solo con l'impianto a pannelli a pavimento. Le ultime due colonne della tabella 1 riportano le dispersioni invernali ed estive per singolo locale e totali, calcolate con il regime normativo vigente.

Descrizione	V [m ³]	H [m]	Sc [m ²]	Sp [m ²]	θ_i (Inv.) [°C]	θ_e (Est.) [°C]	D.M. 26/06/15 – 1a fase	
							Φ_{hl} (Inv.) [W]	Φ_{gl} (Est.) [W]
Camera 1	38,7	2,8	13,8	13,3	20	25	635	629
Bagno 1	13,3	2,8	4,8	3,6	24	-	332	-
Camera 2	30,1	2,8	10,8	10,1	20	25	395	441
Soggiorno	90,2	2,8	32,2	31,1	20	25	1574	1894
Ingresso 1	18,1	2,8	6,5	5,9	20	25	256	286
Cucina	42,9	2,8	15,3	14,5	20	25	1007	2758
Ingresso 2	22,1	2,8	7,9	7,2	20	25	320	355
Bagno 2	20,6	2,8	7,4	4,3	24	-	458	-
Camera 3	41,4	2,8	14,8	14	20	25	711	1006
Disimpegno	14,9	2,8	5,3	2,4	20	25	92	141
Totale edificio	332	-	119	106	-	-	5780	7510

Tabella 1: dati geometrici e potenze di calcolo.

3.2 Calcolo della potenza invernale

Per evidenziare l'effetto dell'evoluzione normativa sul calcolo delle dispersioni in termini di potenza si è deciso di verificare lo stesso edificio con le normative che si sono susseguite in questi ultimi 25 anni.

Ipotizzando che l'edificio venga costruito con prestazioni al limite della normativa, abbiamo realizzato otto modelli con il programma EC700 di Edilclima (appena al di sotto del limite fissato dalla normativa) utilizzando la stessa planimetria e le stesse condizioni al contorno. L'edificio che risulta dalle varie simulazioni è sostanzialmente diverso per quanto concerne la prestazione energetica sia dal lato involucro che dal lato impianto; infatti si passa da un edificio non isolato con generatore a gas tradizionale ad

uno "NZEB" pesantemente isolato, con impianto VMC, recuperatore, pompa di calore e impianto fotovoltaico.

Da queste simulazioni abbiamo realizzato la tabella 2 e la tabella 4.

La prima è così composta:

- nell'intestazione sono presenti tutti i regimi normativi e le loro rispettive date di entrata in vigore;
- la sezione centrale riporta le **potenze specifiche di progetto** per ogni singolo locale e per l'intero edificio: il colore differente è legato alla massima temperatura superficiale del pavimento; laddove essa risulti più elevata del consentito, sarà necessario valutare l'introduzione di possibili sistemi di integrazione;
- nell'ultima riga è calcolata la percentuale (rispetto all'intero edificio) che indica di quanto sono diminuite le dispersioni rispetto al caso non isolato.

Descrizione	Potenza invernale Φ_{hl} [W/m ²]							
	Non isolato	Legge 10/91	D.Lgs. 192/05	D.Lgs. 311/06 (1a fase)	D.Lgs. 311/06 (2a fase)	D.P.R. 59/09	D.M. 26/06/15 (1a fase)	D.M. 26/06/15 (2a fase) NZEB
In vigore dal	-	17/01/91	08/01/05	02/02/07	01/01/08	25/06/09	01/10/15	01/01/21
Camera 1	140	96	85	81	67	58	48	41
Bagno 1	241	186	174	169	151	141	92	85
Camera 2	111	75	69	66	55	49	39	35
Soggiorno	131	89	81	77	60	60	51	45
Ingresso 1	88	55	50	46	42	46	43	40
Cucina	177	133	121	117	97	95	69	62
Ingresso 2	140	91	78	74	63	54	44	37
Bagno 2	284	229	215	208	186	168	107	98
Camera 3	141	107	97	93	74	60	51	45
Disimpegno	136	82	78	70	69	67	38	35
Totale edificio	146	104	94	66	75	69	54	48
Variazione [%]	0	- 29	- 35	- 38	- 49	- 52	- 63	- 67

Tabella 2: risultati della potenza specifica invernale al variare dei regimi normativi. La colorazione è legata alla temperatura superficiale massima del pavimento.

La tabella 3 riporta la resa teorica in riscaldamento, calcolata con temperatura ambiente di 20 °C (24 °C per i bagni), legata alla temperatura massima superficiale del pavimento (previste da normativa).

Descrizione	Ottimale	Occupata	Bagni	Marginale
T. pavimento [°C]	26-27	29	33	35
Resa [W/m ²]	64-76	100	100	175

Tabella 3: temperature del pavimento e rese teoriche correlate (riscaldamento).

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

3.3 Calcolo della potenza estiva

Fino all'emanazione del D.P.R. 59/09 (in vigore dal 25/06/09) non c'erano vincoli espressamente definiti sulla quantità massima di energia estiva. Era quindi compito esclusivo del progettista architettonico, in base alla propria esperienza, realizzare le opportune schermature. Se tali valutazioni non venivano fatte in modo opportuno, ci si poteva trovare con edifici dai carichi estivi così elevati da rendere difficile una soluzione impiantistica. Come per il calcolo invernale del paragrafo precedente, abbiamo realizzato un'ulteriore tabella che indica come varia la potenza estiva latente con l'applicazione dei vincoli di legge.

Nella parte centrale della tabella 4 viene indicata la potenza sensibile di progetto (W/m^2) con colorazioni diversificate in base alla temperatura minima del pavimento.

Descrizione	Potenza estiva sensibile $\Phi_{gl,sen}$ [W/m^2]			
	Non isolato	DPR 59/09	DM 26/06/15 (1a fase)	DM 26/06/15 (2a fase) NZEB
In vigore dal	-	25/06/09	01/10/15	01/01/21
Camera 1	80	42	33	27
Camera 2	65	37	29	24
Soggiorno	89	60	46	37
Ingresso 1	61	45	34	28
Cucina	266	180	162	109
Ingresso 2	78	43	34	31
Camera 3	134	80	57	39
Disimpegno	95	73	46	37
Totale edificio	107	68	55	41
Variazione [%]	0	- 36	- 49	- 62

Tabella 4: risultati della potenza specifica estiva al variare dei regimi normativi. La colorazione è legata alla temperatura superficiale minima del pavimento.

La tabella 5 riporta la resa teorica in raffrescamento, calcolata con temperatura ambiente di 25 °C (secondo proposta del metodo Carrier), legata alla temperatura superficiale minima e all'umidità relativa massima. Una diminuzione della temperatura o un aumento dell'umidità relativa potrebbero portare a delle condense superficiali

Descrizione	Resa minima	Resa media	Resa massima
T. pavimento [°C]	21	19	18
UR % limite	79	70	65
Resa [W/m^2]	28	42	49

Tabella 5: temperatura del pavimento e rese teoriche (raffrescamento).

3.4 Procedura di calcolo

L'edificio preso in considerazione per il dimensionamento è quello secondo il D.M. 26/06/15 "1ª fase". Si è scelto di dimensionare l'impianto a pannelli radianti in regime invernale e di verificarlo in regime estivo in quanto il carico estivo risulta troppo elevato e comunque non asportabile soltanto con l'impianto a pannelli a pavimento (presenza anche del carico latente). L'impianto a pavimento radiante è regolato con un sistema di controllo della temperatura ambiente. Il sistema di generazione è affidato ad una pompa di calore aria - acqua integrata con una caldaia a condensazione di emergenza. Il ricambio d'aria è affidato ad un sistema meccanico di rinnovo e condizionamento.

Per il dimensionamento si è utilizzato il programma EC711 di Edilclima seguendo questi punti:

- definizione dei componenti dell'impianto di distribuzione (3.4.1);
- posizionamento dei componenti in planimetria (3.4.2);
- scelta delle aree di posa (3.4.3);
- predimensionamento tabellare (3.4.4);
- disegno dei pannelli (3.4.5);
- verifica dei pannelli (3.4.6);
- calcolo della rete di distribuzione e regolazione dell'impianto (3.4.7);
- valutazione degli elementi principali del locale tecnico (3.4.8);
- verifica del sistema in regime estivo (3.4.9).

3.4.1 Definizione dei componenti dell'impianto di distribuzione

Il primo passaggio consiste nella scelta dei componenti da utilizzare per realizzare l'impianto. Occorre scegliere la tipologia di tubo, l'isolante, il collettore, le valvole di regolazione e di intercettazione. Particolare attenzione dovrà essere posta al tipo di rivestimento utilizzato: qualora fosse rappresentato da materiali con alta resistenza termica (legni, laminati e resine), sarà necessaria una temperatura di mandata maggiore.

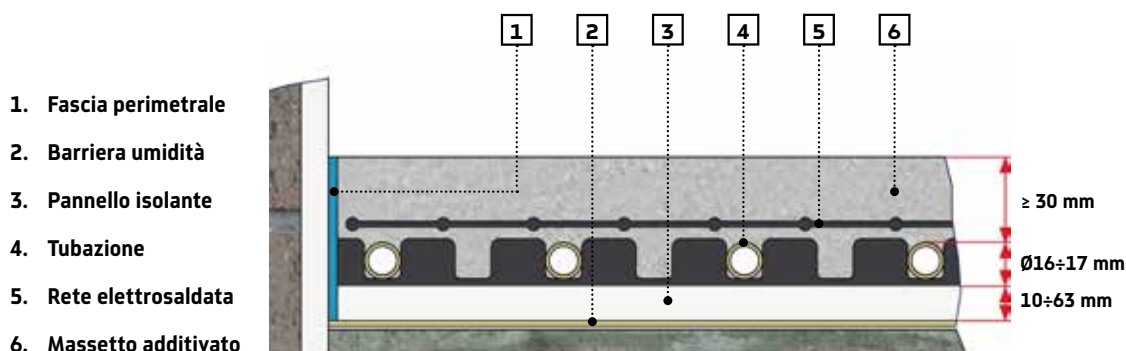
Di seguito si riporta un elenco dei componenti utilizzati.

- Per le tubazioni principali di distribuzione si è adottato tubo multistrato (PE-Xb/Al/PE-Xb) ALPEX -DUO di Fränkische in barre nei diametri 16x2 – 26x3 – 32x3. Per la realizzazione delle giunzioni sono stati utilizzati raccordi a pressare MULTIPRESS di IVAR.



Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

- La parte di distribuzione a pavimento è stata realizzata utilizzando il tubo FF-Therm in PE-Xa di Fränkische nel diametro 17x2 applicato sul pannello isolante bugnato Fast Therm distribuito da IVAR. Si riportano a titolo d'esempio la sezione di posa relativa a questo pannello e le caratteristiche tecniche principali.



Classe materiale	Film plastico	Conducibilità termica ($\lambda \cdot d$)	Resistenza termica (Rd)	Resistenza a compressione al 10% di deformazione
EPS 150	600 μm	0,034 W/mK	1,32 m ² K/W	150 kPa

- Per la distribuzione e la regolazione del fluido termovettore ai pannelli radianti è stato scelto il kit CI 596 CN prodotto da IVAR. Sulle vie di mandata è installato il flussimetro IVAR Fluxer per facilitare il bilanciamento dell'impianto. Sulle vie di ritorno, invece, ci sono inserti di intercettazione su cui montare le testine termoelettriche.



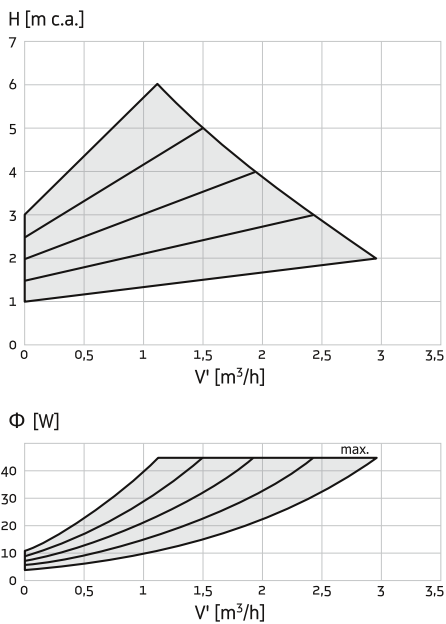
- Sui termoarredi utilizzati ad integrazione nei bagni sono state previste valvole termostatiche con preregolazione della portata e detentori della serie OPTIMA di IVAR.



- Al termine della simulazione, note pertanto le portate di progetto, si è potuto scegliere opportunamente il circolatore: si è adottata una WILO YONOS PARA 25/6 RKA ad alta efficienza, di cui si riporta la curva caratteristica.



Curva a prevalenza proporzionale



Curva a prevalenza costante

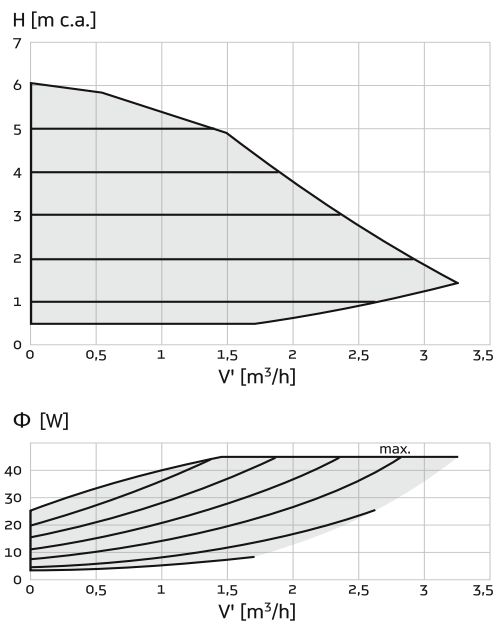


Figura 3: curve caratteristiche del circolatore WILO YONOS PARA 25/6.

3.4.2 Posizionamento dei componenti in planimetria

La seconda fase consiste nel disegno dei componenti principali quali: inizio rete, collettori e rispettive tubazioni di collegamento. Nel nostro caso il locale tecnico è posto nel seminterrato e la distribuzione si divide in due collettori dedicati alla zona giorno e alla zona notte. Per massimizzare il rendimento di generazione della pompa di calore si è deciso di eseguire una distribuzione tutta in bassa temperatura, penalizzando un po' la resa degli scaldasalviette posti come integrazione nei bagni.

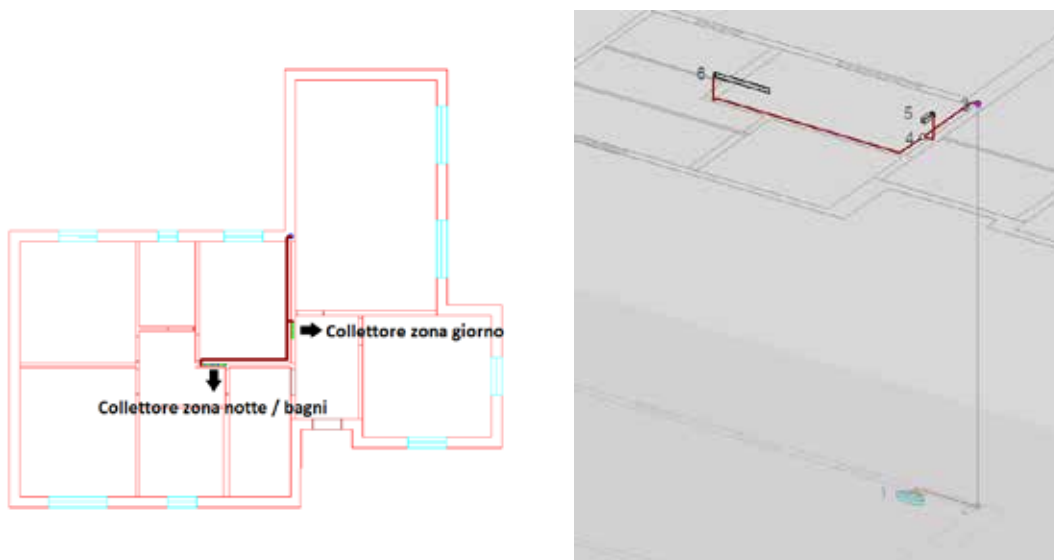


Figura 4: disposizione dei collettori e delle tubazioni principali.

3.4.3 Scelta delle aree di posa

Per definire in modo corretto le aree di posa occorre inizialmente stabilire dove saranno presenti i piatti doccia, le vasche da bagno e qualsiasi componente che impedisca la normale posa del tubo; inoltre secondo la norma UNI EN 1264 è necessario mantenere le tubazioni dei circuiti ad almeno 5 cm dalle pareti (in generale da tutte le superfici verticali) mentre potrebbe essere una buona idea lasciare 15/20 cm di spazio lungo le pareti della camera 2 per il passaggio delle tubazioni che alimentano i collettori (Figura 5).

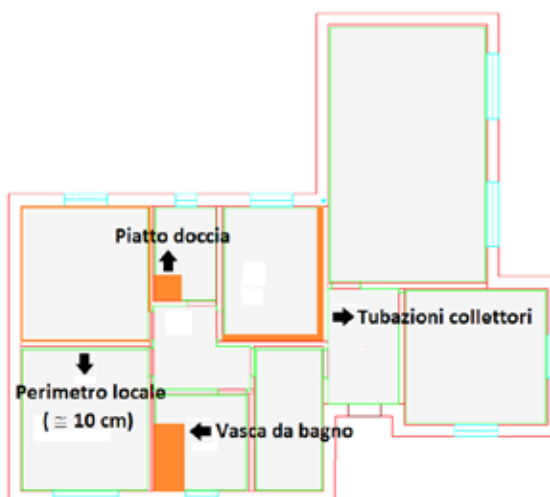


Figura 5: visualizzazione (in arancione) delle aree escluse dalla posa.

3.4.4 Predimensionamento tabellare

Prima di passare al disegno dei pannelli occorre stabilire il passo per ogni locale e la temperatura di mandata. Nel nostro caso, visto che come generatore utilizziamo una pompa di calore, si imposta ragionevolmente una temperatura di 35 °C e si determina per ogni locale il numero di anelli ed il passo necessario.

Nel caso in cui la potenza da fornire al locale sia così elevata da portare una temperatura superficiale del pavimento maggiore di 29 °C (non è il caso dell'esempio trattato), si può suddividere l'area in due zone: una centrale, dove usualmente si sosta, e un'altra periferica, larga non più di un metro, dove si può arrivare fino a 35 °C.

Fig. 6: predimensionamento tabellare con software Edilclima EC711.

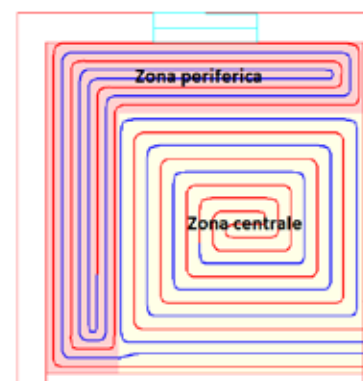


Fig. 7: es. di posa con zona periferica.

3.4.5 Disegno dei pannelli

Il disegno dei pannelli può essere eseguito manualmente ed in alcuni casi automaticamente; si elencano di seguito le tipologie più utilizzate.

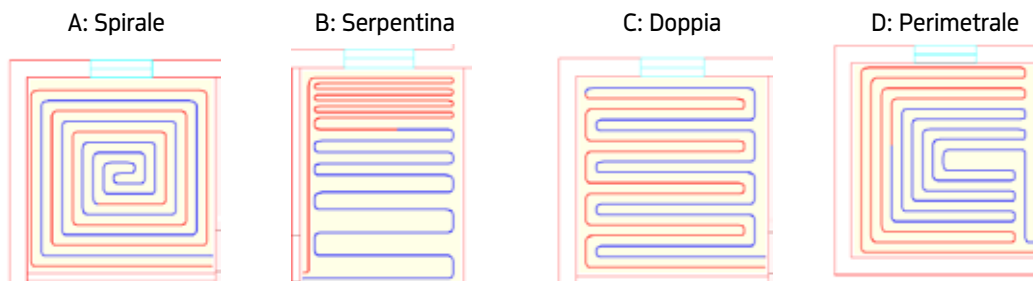


Figura 8: tipologie di posa dei serpentini.

Il tipo A permette di ottenere un'ottima omogeneità della temperatura superficiale su tutta l'area, alternando il tubo di mandata a quello di ritorno.

Il tipo B può essere utilizzato quando il locale presenta una sola parete verso l'esterno dove occorre ottenere una temperatura superficiale maggiore.

Il tipo C è un caso ibrido tra A e B, con distribuzione omogenea della temperatura.

Il tipo D consente di mantenere una temperatura elevata nella zona marginale in quei locali che confinano con l'esterno su tre lati.

3.4.6 Verifica dei pannelli

Dopo aver disegnato tutti gli anelli è possibile verificare se nelle aree è stata raggiunta la potenza di progetto e se i parametri limite di temperatura superficiale e di perdita di carico sono stati superati.

Per ogni anello è possibile visualizzare la potenza persa nel tratto di collegamento ed eventualmente isolarlo. Questa procedura è necessaria quando non si vuole surriscaldare il locale di attraversamento, quando il tratto di collegamento passa in un locale termoregolato separatamente oppure, più semplicemente, quando serve un po' di potenza in più.

3.4.7 Calcolo della rete di distribuzione e regolazione dell'impianto

Il calcolo della rete distribuzione orizzontale e verticale consiste nella definizione di un diametro delle tubazioni in base alla tipologia scelta. In questo caso si tratta delle tubazioni multistrato ALPEX-DUO nei diametri 16x2 - 26x3 - 32x3 per le colonne montanti e FF-Therm in PE-Xa nel diametro 17x2 per la distribuzione a pavimento.

Le seguenti tabelle 6 e 7 sintetizzano i risultati principali della simulazione, a fronte dell'imposizione di alcune condizioni quali il passo di posa (200 mm ad eccezione dei bagni dove per aumentare la resa si è optato per passo 50 mm) e la temperatura di mandata imposta (T ingr.) a 35 °C.

Definiti questi valori la simulazione ha fornito quali risultati la lunghezza (Lungh.) complessiva di ogni singolo anello, la temperatura superficiale del pavimento (T pav.), la resa e le portate di progetto per ogni singolo ambiente.

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

Individuato quindi il circuito più sfavorito, ovvero quello con perdita di carico maggiore, rappresentato in questo esempio dal Bagno 2, si è potuto procedere alla determinazione delle perdite (Δp_m) da imporre ad ogni singolo anello al fine di bilanciare correttamente i circuiti e garantire ad impianto funzionante le corrette portate di progetto.

Locale	Codice	Lungh. [m]	Passo [mm]	T ingr. [°C]	T pav. [°C]	Portata [kg/h]	Resa [W]	Δp_d [daPa]	Δp_r [daPa]	Δp_m [daPa]	Posiz. Reg.
Camera 1	A1-1	79,4	200	35	25,1	171	700	1374	47	820	1,84
Camera 3	A2-1	87,5	200	35	24,9	171	713	1526	47	668	1,93
Bagno 1	A3-1	79,9	50	35	30,7	180	270	1517	52	672	1,98
Integrazione 1	A3-1	-	-	35	-	147	143	1087	35	1119	1,57
Camera 2	A4-1	48,9	200	35	24,7	70	461	183	8	2050	1,13
Bagno 2	A6-1	108,5	50	35	30,5	175	372	1964	49	228	TA
Integrazione 2	A6-1	-	-	35	-	170	126	1461	46	734	1,88
Disimpegno	A5-1	-	150	-	-	-	138	-	-	-	-
Ingresso 1	A8-1	-	150	-	-	-	177	-	-	-	-
Ingresso 2	A7-1	35,7	200	35	25,3	81	405	170	11	2060	1,18

Tabella 6: Collettore C1 (zona notte/bagni). È evidenziato il circuito più sfavorito.

Locale	Codice	Lungh. [m]	Passo [mm]	T ingr. [°C]	T pav. [°C]	Portata [kg/h]	Resa [W]	Δp_d [daPa]	Δp_r [daPa]	Δp_m [daPa]	Posiz. Reg.
Cucina	A9-1	61,9	150	35	26	197	465	1375	62	1035	1,85
Cucina	A9-2	61,3	150	35	26	199	450	1389	64	1019	1,87
Soggiorno	A10-1	105,5	150	35	25,2	120	871	992	23	1457	1,37
Soggiorno	A10-2	114,4	150	35	25	120	812	1078	23	1371	1,38

Tabella 7: Collettore C2 (zona giorno).

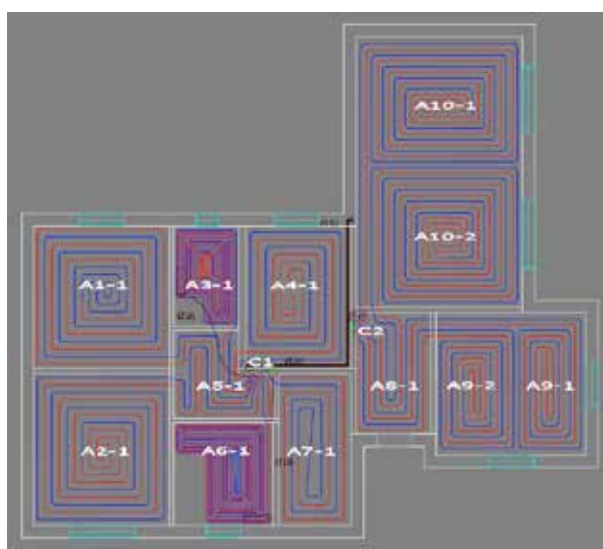


Figura 9: disegno esecutivo dei pannelli radianti.

Proviamo a vedere con un semplice esempio teorico, riferito alla Camera 1, da dove derivano i valori “ ΔP_m ” e “Posiz. Reg.” che sono stati riportati nelle tabelle 6 e 7 a seguito della simulazione di calcolo.

In generale la perdita di carico totale sul singolo anello è definita come:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_d + \Delta P_m + \Delta P_r$$

ove

ΔP_d = perdita di carico distribuita sulle tubazioni (perdite per attrito)

ΔP_m = perdita di carico localizzata sul collettore di mandata (dovuta al flussimetro)

ΔP_r = perdita di carico localizzata sul collettore di ritorno (dovuta all'inserito termostattabile)

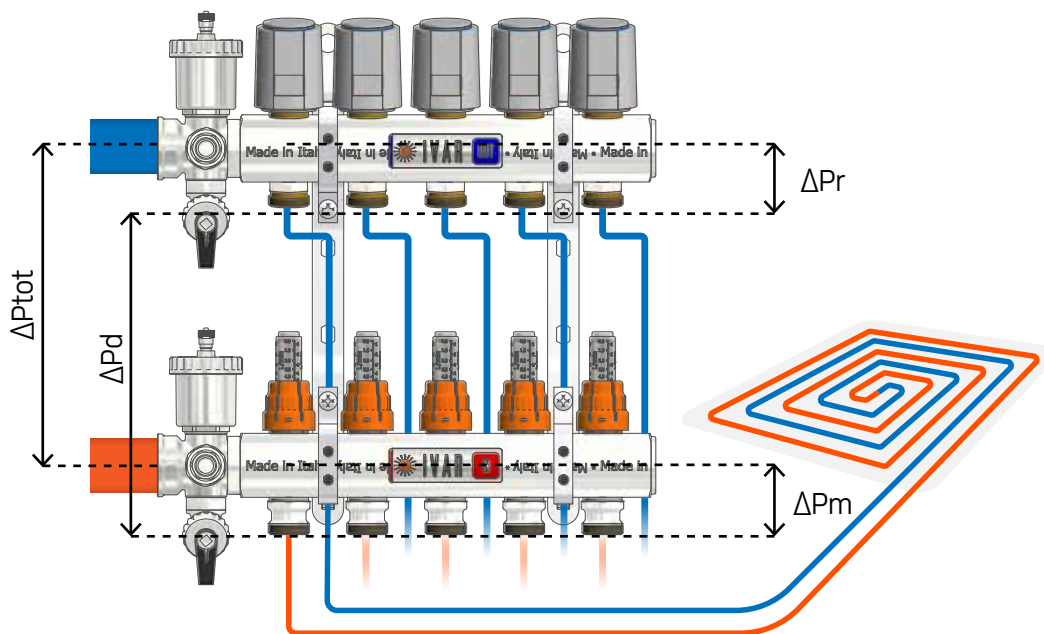


Figura 10: le perdite di carico su un collettore.

All'interno del nostro esempio il circuito più sfavorito è quello del bagno 2, per il quale la perdita per attrito lungo la tubazione (ΔP_d) è pari a 1964 daPa. I valori localizzati (ΔP_m) e (ΔP_r) possono essere facilmente calcolati utilizzando gli appositi grafici di Kv forniti dal costruttore (vedere figure 11 e 12) oppure, noti i Kv, utilizzando la formula:

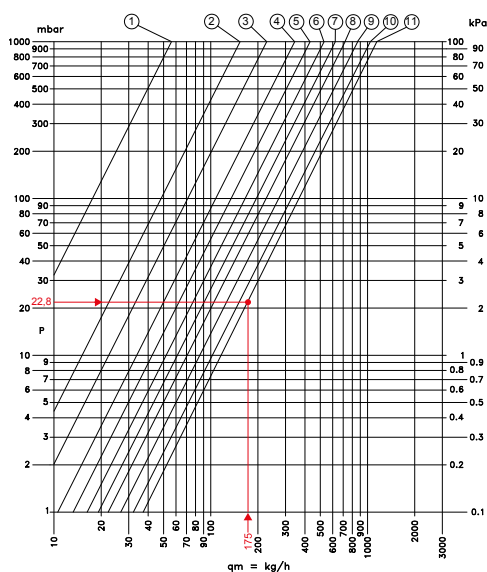
$$\Delta P = \left(\frac{Q}{K_v} \right)^2$$

ove Δp è espressa in bar e Q in m^3/h .

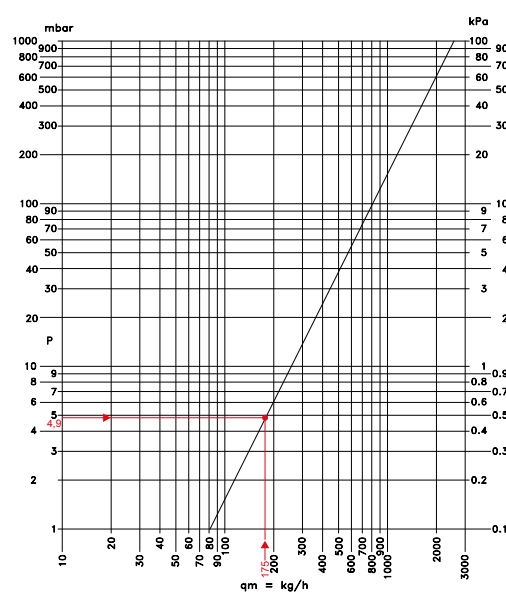
Sul collettore di mandata pertanto, per ridurre al minimo le perdite, si porterà in totale apertura il flussimetro e noto il Kv si otterrà:

$$\Delta P_m = \left(\frac{0,175 \text{ m}^3 / h}{1,16 \text{ m}^3 / h \cdot \text{bar}^{0,5}} \right)^2 = 0,0228 \text{ bar}$$

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica



#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ΔP	1	1.125	1.25	1.375	1.5	1.75	1.875	2	2.25	2.5	Max
Kv	0.05	0.15	0.22	0.32	0.41	0.51	0.61	0.71	0.87	1.02	1.16



$Kvs = 2.5$

Figura 11: perdite di carico sul collettore di mandata. Figura 12: perdite di carico sul collettore di ritorno.

Analogamente, noto il Kv del collettore di ritorno, con la stessa formula sarà possibile determinare la perdita localizzata sul ritorno, pari a 0,0049 bar.

In sostanza la perdita totale (ΔP_{tot}) lungo il circuito più sfavorito del bagno 2 è pari a 2241 daPa di cui:

$$\Delta P_m = 228 \text{ daPa}$$

$$\Delta P_r = 49 \text{ daPa}$$

$$\Delta P_d = 1964 \text{ daPa}$$

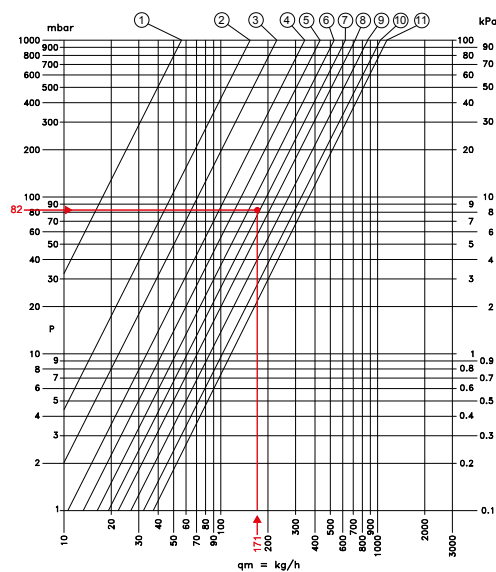
Chiarito questo, vediamo come a livello teorico viene determinata la posizione di regolazione del flussimetro per il circuito camera 1.

In questo caso il valore della perdita della tubazione è pari a 1374 daPa, mentre la perdita sul collettore di ritorno vale 47 daPa. Al fine di avere un circuito bilanciato è necessario strozzare la mandata in modo da ottenere anche su questo anello la stessa perdita di carico complessiva del circuito più sfavorito ovvero 2241 daPa.

Da qui si ricava:

$$\Delta P_m = (2241 - 1374 - 47) \text{ daPa} = 820 \text{ daPa}$$

Si determina pertanto un Kv di regolazione per il flussimetro pari a:



#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ΔP	1	1.125	1.25	1.375	1.5	1.75	1.875	2	2.25	2.5	Max
Kv	0.05	0.15	0.22	0.32	0.41	0.51	0.61	0.71	0.87	1.02	1.16

Figura 13: determinazione della posizione di apertura del flussimetro.

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{0,171 \text{ m}^3 / \text{h}}{\sqrt{0,0820 \text{ bar}}} = 0,5971$$

Dal grafico dei Kv dei flussimetri (entrando con valori di portata e di Δp) si ottiene tale valore con circa 1 giro e 7/8 di apertura dalla posizione di chiusura.

Chiaramente, quello presentato è l'esempio teorico di come vengono determinate le posizioni di regolazione. Grazie al calcolo via software questi valori sono determinati in automatico, rendendo più facile la vita al progettista.

3.4.8 Valutazione degli elementi principali del locale tecnico

Note la perdita di carico e la portata del circuito principale, è possibile scegliere la taglia del circolatore. Va innanzitutto messo in evidenza che le perdite di carico da considerare non sono solo quelle relative al circuito a collettori, ma dovranno essere considerate anche le perdite distribuite attraverso le colonne montanti e la distribuzione orizzontale. Il calcolo ha determinato una perdita complessiva pari a 3873 daPa con una portata totale pari a 1801 kg/h. Il circolatore scelto per questo tipo di applicazione è una WILO YONOS PARA 25/6 RKA a giri variabili con possibilità di lavorare a prevalenza proporzionale o a pressione costante. La scelta della modalità di funzionamento del circolatore è molto importante: si dice spesso che negli impianti radianti va preferita la modalità a pressione costante; nella sezione di approfondimento all'interno di questa pubblicazione, vedremo che non è sempre così e a volte potrebbero essere fatte valutazioni diverse che tengono in considerazione come è fatto l'impianto. Sicuramente la regolazione a pressione costante ha un vantaggio: garantisce, ove applicabile, una facile procedura di bilanciamento (senza ricorrere a grafici e al calcolo del numero di giri di apertura delle valvole micrometriche).

Avendo a che fare con una pompa di calore, si è preferito inserire un accumulo inerziale, che fungesse anche da compensatore idraulico, per limitare le accensioni della macchina in fase di regolazione. Risulta buona regola, soprattutto con generatori di calore ad alta temperatura, predisporre sempre un termostato di blocco (tarato a 50÷55°C) che impedisca di raggiungere, causa mal funzionamento del sistema, temperature dannose per persone e strutture.

3.4.9 Verifica del sistema in regime estivo

L'ultima fase consiste nella verifica della potenza estiva sensibile: imponendo come limite minimo una temperatura superficiale del pavimento di 19 °C, si impostano le portate invernali al calcolo estivo e si verifica la potenza esportata.

Si ricorda che l'edificio è dotato anche di sistema VMC con il controllo dell'aria primaria (con condizionamento sia in caldo che in freddo) e sensori di umidità relativa.

4 Approfondimento: regolazione dei collettori e scelta del modo operativo del circolatore

Negli impianti di riscaldamento a pavimento l'operazione di bilanciare i singoli circuiti, anche se sottovalutata, è importante. È frequente vedere collettori completamente aperti per dare la massima portata oppure lasciati nella "configurazione di fabbrica" senza andare ad azionare i dispositivi di regolazione che sono presenti. Questa consuetudine porta a delle problematiche, alcune rilevabili dagli utenti, altre non immediatamente percepibili. Situazioni del tipo:

- "non passa acqua!"... e ci si rende conto che i flussimetri sono rimasti chiusi, o quasi
- "alcune zone sono sempre fredde!"...e magari c'è un unico termostato per tutta l'abitazione, montato nella cucina e gli anelli delle altre stanze sono stati oltremodo strozzati senza alcun criterio

sono esempi evidenti di una cattiva installazione, poiché anche l'utente finale (il proprietario di casa) li percepisce fisicamente.

Esistono poi altre situazioni per cui l'impianto pare funzionare correttamente, il proprietario è contento, ma ci sono sprechi più o meno consistenti che con qualche semplice accortezza potrebbero essere evitati.

In primis, vale la pena considerare che se alla base esiste un progetto significa che sono state fatte opportune valutazioni su una serie di variabili (isolamento, esposizione, passo di posa, tipo di generatore, ecc.) al fine di rendere il più efficiente possibile l'impianto; come abbiamo visto in precedenza, sulla base di calcoli il progettista definisce le portate dei singoli anelli, e tali valori vanno rispettati.

Purtroppo a volte questi aspetti passano in secondo piano, per semplice distrazione o perché si ricorda che il bilanciamento è un processo lungo e per tentativi. Ma se si scelgono i componenti giusti e le impostazioni corrette, non è sempre così.

Ad esempio, l'utilizzo dei flussimetri con visualizzazione della portata rende il processo di bilanciamento estremamente semplice se la differenza ai capi del collettore viene mantenuta costante, per esempio con un regolatore di pressione differenziale. Nota infatti la portata sull'anello più sfavorito, si potrà procedere chiudendo tutti i circuiti ed aprendo completamente il flussimetro sulla via più sfavorita; a questo punto, sarà sufficiente regolare la pressione differenziale

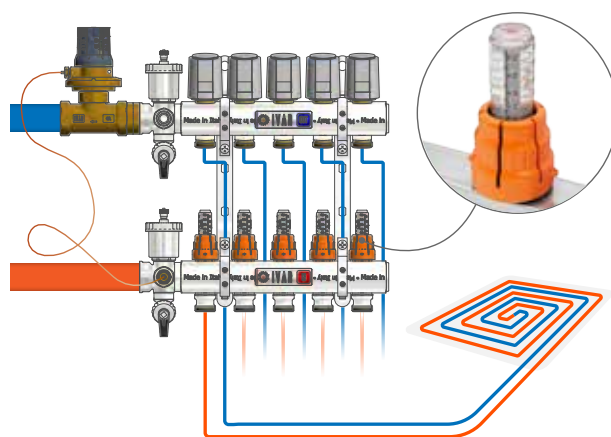


Figura 14: esempio di collettore con flussimetri e regolatore di pressione differenziale.

fino a veder verificata sul flussimetro la portata di progetto relativa all'anello. Sarà poi sufficiente aprire ad uno ad uno i restanti circuiti fino a leggere su ciascuno di essi la portata desiderata, senza nemmeno dover contare i giri di apertura.

Questa procedura molto semplice vale sempre a prescindere dalla modalità di funzionamento impostata sul circolatore e permette di trovare molto facilmente le posizioni di regolazione che il calcolo ha definito secondo le portate di progetto. Non sempre viene ipotizzato di inserire un regolatore di pressione differenziale: nel nostro esempio non era stato previsto.

È inoltre importante definire la modalità di funzionamento della pompa. È prassi pensare che la regolazione migliore sia quella a prevalenza costante: se nel sistema la portata varia, poiché ad esempio alcuni circuiti si sono chiusi (sistemi a zone), è facile credere che il sistema possa restare comunque bilanciato; la prevalenza resta costante per cui le portate sui singoli anelli rimasti aperti non varieranno, ovvero impianto sempre bilanciato. Questo è vero solo se il circolatore si trova vicinissimo al collettore, ma non è sempre così: bisogna vedere come è fatto l'impianto e quali comportamenti si possono ottenere ai carichi parziali.

L'impianto descritto in questa pubblicazione ha la "sfortuna" di includere un tratto comune tra la centrale termica e i collettori di distribuzione. A carico parziale, la portata diminuisce e di conseguenza anche la Δp lungo i tratti comuni: questo influenza la redistribuzione della prevalenza del circolatore sui singoli circuiti del collettore poiché la perdita di carico ai suoi capi non è più quella teorica calcolata a pieno carico. Il risultato è che le portate di progetto non sono più garantite ai carichi parziali, nemmeno con curva a prevalenza costante. Per dimostrare come si modificano le portate in questa condizione, abbiamo simulato il funzionamento dell'impianto con un circolatore elettronico ad alta efficienza impostato su modi operativi diversi: prevalenza costante, giri fissi e prevalenza proporzionale. Per non complicare eccessivamente l'esempio, abbiamo considerato l'impianto nelle sole due zone, giorno e notte, spegnendo l'intero collettore senza diversificare ogni singolo ambiente (ovvero senza spegnere ogni singolo anello).

CASO A: curva a prevalenza costante

		Collettore Zona Notte								Collettore Zona Giorno			
		Camera 1	Camera 3	Bagno 1	Integraz. 1	Camera 2	Bagno 2	Integraz. 2	Ingresso 2	Cucina A9-1*	Cucina A9-2*	Soggiorno A10-1*	Soggiorno A10-2*
Massimo Carico	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	197	199	120	120
	Portata reale (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	197	199	120	120
	$\Delta\%$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Carico parz. Zona Giorno OFF	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	0	0	0	0
	Portata reale (kg/h)	192	192	202	165	78	196	190	91	0	0	0	0
	$\Delta\%$	+10%	+10%	+10%	+10%	+10%	+10%	+10%	+10%	0%	0%	0%	0%
Carico parz. Zona Notte OFF	Portata progetto (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	197	199	120	120
	Portata reale (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	236	239	144	144
	$\Delta\%$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+20%	+20%	+20%	+20%

* Le indicazioni A9-1, A9-2, A10-1, A10-2 si riferiscono ai singoli anelli degli ambienti cucina e soggiorno (vedere Tabella 7).

Tabella 8: portata agli anelli con pompa a prevalenza costante.

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

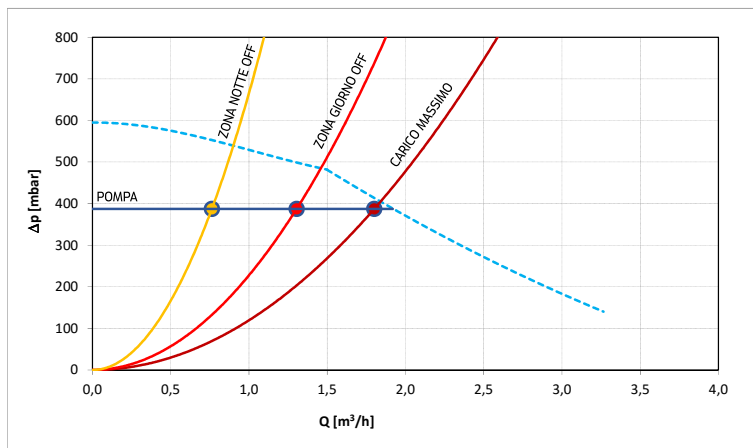


Figura 15: punti di funzionamento a carico massimo e ai carichi parziali con pompa a prevalenza costante.

CASO B: curva a giri fissi

* Le indicazioni A9-1, A9-2, A10-1, A10-2 si riferiscono ai singoli anelli degli ambienti cucina e soggiorno (vedere Tabella 7).

		Collettore Zona Notte								Collettore Zona Giorno			
		Camera 1	Camera 3	Bagno 1	Integraz. 1	Camera 2	Bagno 2	Integraz. 2	Ingresso 2	Cucina A9-1*	Cucina A9-2*	Soggiorno A10-1*	Soggiorno A10-2*
Massimo	Carico												
	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	197	199	120	120
	Portata reale (kg/h)	176	176	185	151	72	180	175	83	203	205	123	123
	Δ%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%
Carico parz.	Zona Giorno OFF												
	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	0	0	0	0
	Portata reale (kg/h)	211	211	222	182	86	216	210	100	0	0	0	0
	Δ%	+24%	+24%	+24%	+24%	+24%	+24%	+24%	+24%	+0%	+0%	+0%	+0%
Carico parz.	Zona Notte OFF												
	Portata progetto (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	197	199	120	120
	Portata reale (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	278	281	169	169
	Δ%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+41%	+41%	+41%	+41%

Tabella 9: portata agli anelli con pompa a giri fissi.

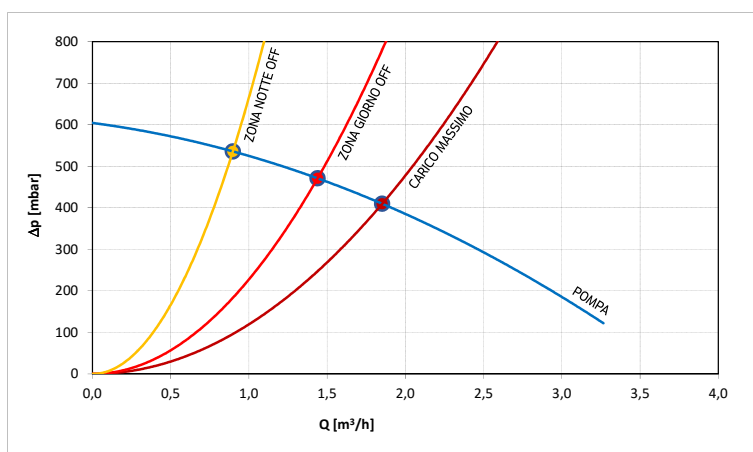


Figura 16: punti di funzionamento a carico massimo e ai carichi parziali con pompa a giri fissi.

CASO C: curva a prevalenza proporzionale

		Collettore Zona Notte							Collettore Zona Giorno					
		Camera 1	Camera 3	Bagno 1	Integraz. 1	Camera 2	Bagno 2	Integraz. 2	Ingresso 2	Cucina A9-1*	Cucina A9-2*	Soggiorno A10-1*	Soggiorno A10-2*	
Massimo	Carico	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	197	199	120	120
		Portata reale (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	197	199	120	120
		$\Delta\%$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Carico parz.	Zona Giorno OFF	Portata progetto (kg/h)	171	171	180	147	70	175	170	81	0	0	0	0
		Portata reale (kg/h)	175	175	185	151	72	179	174	83	0	0	0	0
		$\Delta\%$	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	0	0	0	0
Carico parz.	Zona Notte OFF	Portata progetto (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	197	199	120	120
		Portata reale (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	197	199	120	120
		$\Delta\%$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

* Le indicazioni A9-1, A9-2, A10-1, A10-2 si riferiscono ai singoli anelli degli ambienti cucina e soggiorno (vedere Tabella 7).

Tabella 10: portata agli anelli con pompa a prevalenza proporzionale.

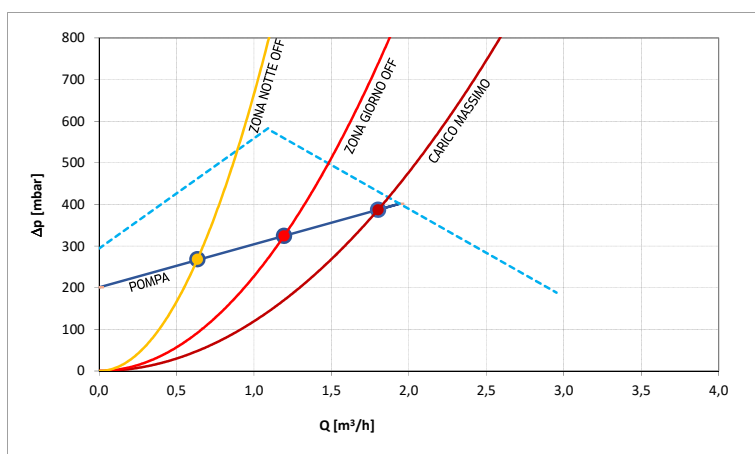


Figura 17: punti di funzionamento a carico massimo e ai carichi parziali con pompa a prevalenza proporzionale.

Le tabelle e i grafici appena riportati mostrano il comportamento dell'impianto in termini di punto di funzionamento (portata e prevalenza) nelle situazioni di massimo carico e di carico parziale con collettore zona giorno spenta o zona notte spenta. Importanti sono le righe relative alla variazione percentuale della portata in condizioni reali di funzionamento rispetto a quella teorica di progetto.

A massimo carico l'utilizzo sulla pompa delle modalità a prevalenza costante o a prevalenza proporzionale garantisce indifferentemente la portata di progetto, mentre lavorando a velocità fissa si avrebbe una portata superiore a quella di progetto del 3%.

Molto interessante è invece il comportamento ai carichi parziali.

Sistemi radianti a pavimento: evoluzione normativa e tecnologica

L'impostazione a prevalenza costante che è generalmente riconosciuta come la più efficace per gli impianti radianti, porta ad un eccesso di portata del 10% spegnendo la zona giorno e del 20% spegnendo la zona notte. Tale comportamento è da ricondursi al fatto che non è la tipologia di terminale a definire la modalità di funzionamento del circolatore, ma lo sviluppo della rete di distribuzione: in questo caso è la presenza del tratto comune che influenza la redistribuzione delle prevalenze nell'impianto.

Peggiorativa è ovviamente la condizione con pompa a giri fissi con un incremento del 24% con zona giorno spenta e del 41% disattivando la zona notte.

Infine il comportamento migliora con un'impostazione a prevalenza proporzionale: solo +3% di incremento spegnendo la zona giorno, mentre a zone notte spenta, viene garantita la corretta portata di progetto.

In tutte le situazioni viste è chiaro che un eccesso di portata agli anelli potrebbe tradursi in un aumento della potenza fornita e quindi in una temperatura superficiale più elevata del pavimento: in sostanza il rischio è di avere situazioni di discomfort per eccesso di potenza.

Inoltre quando la pompa funziona con portate superiori il consumo elettrico della stessa tende ad aumentare. La tabella 11 riporta i valori di potenza della pompa forniti dal costruttore per i diversi punti di lavoro individuati nel nostro esempio con i tre possibili modi operativi.

	Prevalenza costante	Giri fissi	Prevalenza proporzionale
Carico massimo	42 W	42 W	42 W
Zona giorno OFF	33 W	42 W	25 W
Zona notte OFF	25 W	36 W	14 W

Tabella 11: assorbimento in potenza del circolatore nelle diverse condizioni di funzionamento.

Ovviamente la chiave per mantenersi sempre alle portate di progetto è quella di avere una caduta costante ai capi del collettore: un modo potrebbe essere quello di mettere un regolatore di pressione differenziale a valle del collettore di ritorno. Attenzione che questa soluzione necessita di pompe con prevalenze più elevate, per fare in modo che il dispositivo entri nel suo range di funzionamento, e pertanto vanno fatte le opportune valutazioni tecnico/economiche sulla convenienza di tale soluzione.

Valutazioni analoghe possono essere fatte sui collettori aventi inserti con regolazione della pressione indipendenti dalla portata.

Sulla base di quanto analizzato finora, si sottolinea come la vicinanza del circolatore al collettore è un vantaggio per i sistemi di miscelazione e rilancio perché riduce l'influenza del tratto comune.

Abbiamo comunque evidenziato che per evitare problemi di sovradimensionamento, l'ideale sarebbe far sempre delle valutazioni sul comportamento e sul consumo del circolatore anche quando lavora ai carichi parziali.

5 Considerazioni finali

Il calcolo della potenza invernale richiesta, calcolata al paragrafo 3.2, dimostra che per questo specifico edificio il riscaldamento radiante è quasi sempre sufficiente a soddisfare la potenza richiesta, indipendentemente dalla norma di riferimento scelta per il calcolo dei carichi termici. Fa eccezione il caso "Non isolato" che con flussi termici così elevati richiederà senz'altro un'integrazione.

Più in generale possiamo dire che quando l'edificio è di moderna concezione, quindi ben isolato, un sistema radiante da solo è un'ottima soluzione. Quando però le condizioni al contorno portano a un maggior carico termico, è comunque possibile utilizzare generatori diversi e soluzioni impiantistiche diverse. Dove esiste un vecchio generatore o c'è un impianto a distribuzione mista (come pannelli radianti e radiatori insieme), spesso vengono predisposti sistemi di miscelazione e rilancio che offrono una certa flessibilità nelle possibili variazioni dell'impianto.



Figura 18: esempio di sistema di miscelazione.

Relativamente al carico estivo, anche nel caso considerato e pur rispettando gli attuali limiti di legge, le rientrate di calore sono tali da richiedere sempre l'abbinamento all'impianto di un sistema di integrazione che può essere rappresentato in alcuni casi da un trattamento dell'aria primaria (VMC) e talvolta anche di ulteriori unità di integrazione (split o ventilconvettori).

Abbiamo anche visto che non esistono dogmi o regole sempre valide per la scelta del modo operativo del circolatore: anche gli impianti radianti si prestano a molteplici valutazioni.

Per concludere quindi, non esiste algoritmo, modello o programma che possa sostituire le competenze del progettista. Solo lui, in base alla tipologia di edificio e alle condizioni al contorno, ha le competenze specifiche per scegliere la soluzione impiantistica più adeguata, efficiente ed economica.

Richiedi il nuovo catalogo

SISTEMI RADIANTI





LINEA ARANCIO

TECHNICAL SUPPORT

LINEA ARANCIO è il filo diretto pensato da IVAR per entrare in contatto con professionisti esperti in modo facile e veloce. Il nostro team di consulenza tecnica sa sempre suggerire le migliori soluzioni impiantistiche per il tuo progetto.



RICERCA SOLUZIONI



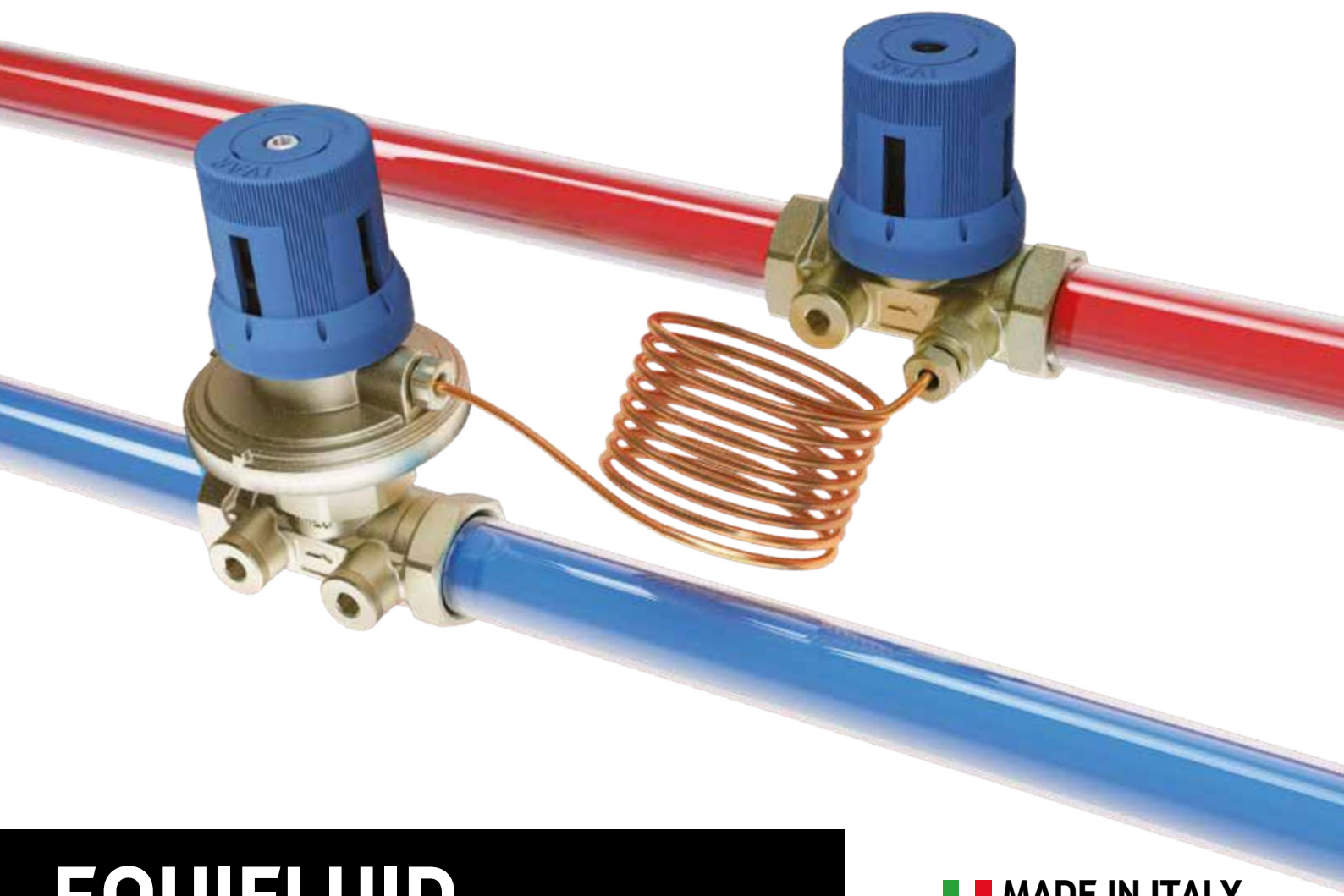
PREVENTIVAZIONE DETTAGLIATA



SUPPORTO PRE, DURANTE E POST INSTALLAZIONE

LINEA ARANCIO
TECHNICAL SUPPORT
+39 030 6802842
linea.arancio@ivar.it





EQUIFLUID

Regolatore di pressione differenziale

 **MADE IN ITALY**

In un circuito bilanciato correttamente la temperatura desiderata è garantita in tutti gli ambienti, anche quelli raggiunti dai rami dell'impianto più sfavoriti

Il bilanciamento dinamico di impianti a portata variabile ne ottimizza il rendimento e il funzionamento migliorando le condizioni operative delle valvole di controllo all'interno del circuito.



CUBODOMO

Risparmia fino al 40%* sulla bolletta di casa con il termostato intelligente che comunica con i tuoi dispositivi Smart



Controllo da remoto
tramite l'app MyCUBODOMO



Gestione delle fasce orarie



Gestione multizona per un maggiore comfort



Risparmio energetico



Designed in **ITALY**. Made in **ITALY**. 

* Il risparmio energetico individuale dipende dai controlli esistenti, dall'ambiente e dallo stile di vita.



IVAR

HYDRONIC COMPONENTS & SYSTEMS



**Valvole per radiatori
e Fan-coil**



Collettori



Impianti sanitari



Contabilizzazione



**Bilanciamento
idraulico**



**Tubazioni
e Raccorderia**



Sistemi radianti



Sistemi solari



**Regolazione
e Controllo**



Centrale termica



Satelliti di utenza



Sistemi per il gas