

ESERCIZI

IMPIANTI DI

RISCALDAMENTO

TRADIZIONALI



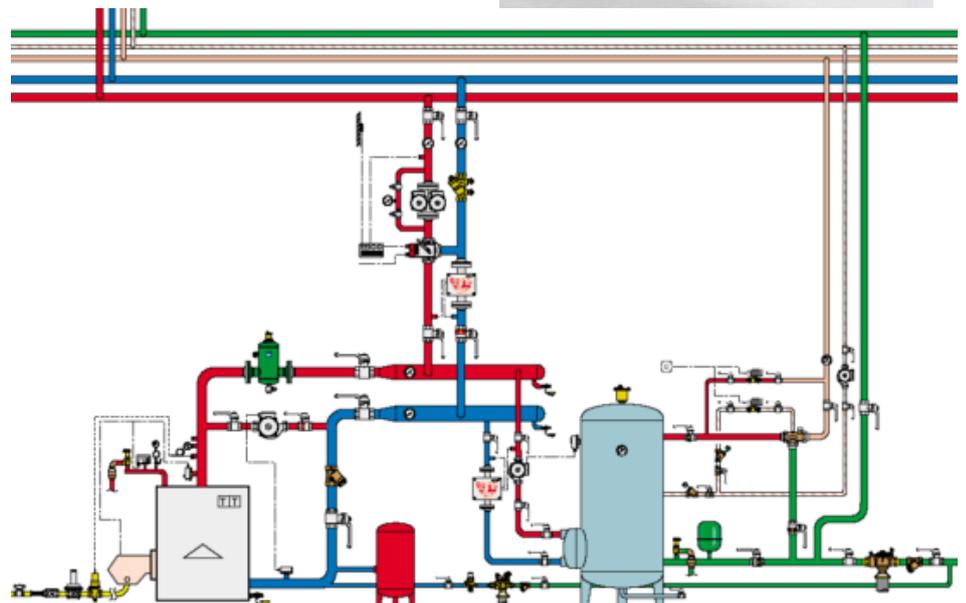
GLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO AD ACQUA

Gli impianti di riscaldamento assolvono il compito di scaldare gli ambienti confinati e sono suddivisi nelle seguenti sottocategorie:

- 1) le caldaie autonome a camera stagna, a camera aperta o a condensazione: in origine venivano installate in ambienti interni e successivamente esternamente all'abitazione.
Con la nuova Direttiva ErP (Energy related Products) del 26 settembre 2015, le caldaie a camera stagna o aperta sono state dichiarate non a norma e sono state sostituite da moderne caldaie a condensazione. L'installazione ex-novo di impianti termici di vecchia concezione è ammessa soltanto all'interno di contesti condominiali che hanno una Canna fumaria Collettiva (CC) o a Canna Collettiva Ramificata (CCR). Le nuove caldaie a condensazione si adattano ad ogni tipo di impianto esistente, a pavimento, a soffitto oppure con radiatori, ma è sempre preferibile dotarli di condotti fumari indipendenti;
- 2) le pompe di calore: sono macchine frigorifere che funzionano per meccanismo inverso rispetto a quello convenzionale: invece di produrre aria fredda, trasformano l'energia proveniente dagli impianti elettrici o di combustione in aria calda.
Quelle più comuni funzionano ad elettricità e sono in grado di cedere agli ambienti il calore necessario derivante dall'ambiente esterno, maggiorato dal lavoro meccanico del compressore;
- 3) gli impianti centralizzati: sono caratterizzati dalla presenza di un'unica centrale termica al servizio di più unità abitative. In questi casi la potenza del generatore di calore è sempre superiore ai 35 Kw e, pertanto, è prevista la realizzazione di un apposito locale dedicato all'alloggiamento della centrale termica e di una rete di distribuzione articolata in grado di raggiungere le singole unità.



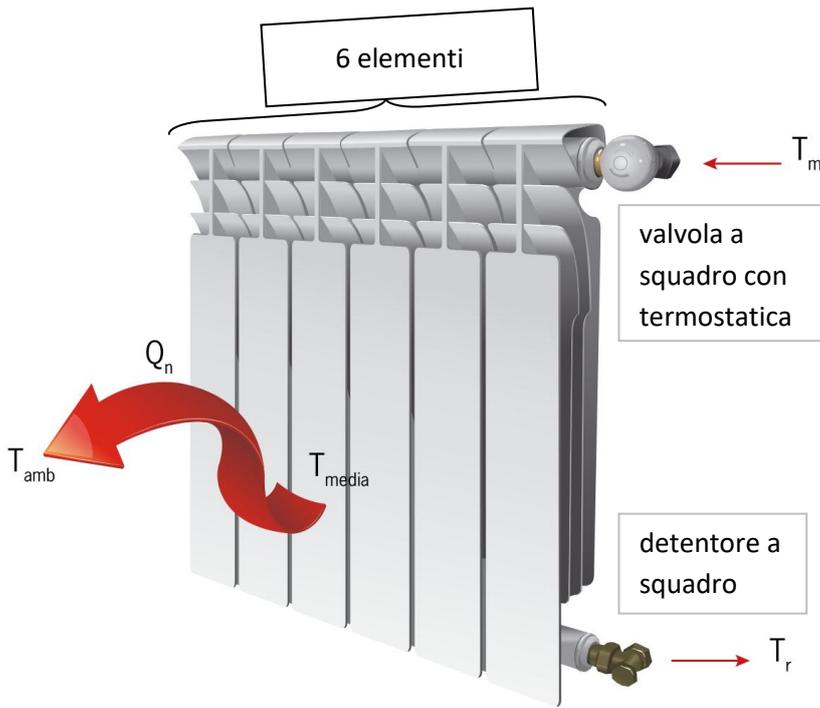
Questa soluzione è attualmente molto utilizzata nei complessi condominiali, in quanto permette un maggior risparmio energetico rispetto alle caldaie autonome: l'impianto è caratterizzato, infatti, da una maggior efficienza, con ampia possibilità di gestione personalizzata della temperatura interna ai singoli locali. Per la contabilizzazione dei consumi di ogni abitazione, a valle del contatore generale sono dislocati dei sottocontatori che registrano i consumi di ogni appartamento.



IMPIANTI DI RISCALDAMENTO AD ACQUA: TERMINALI

<p>RADIATORI a convezione naturale</p>		<p>Scaldano l'ambiente grazie al fluido scaldante che, proveniente dalla caldaia, cede calore all'ambiente attraverso le pareti dei radiatori stessi. La temperatura normale di esercizio prevede l'ingresso dell'acqua (dall'alto) a 60-80°C e una differenza in uscita di 10°C. Lo scambio di calore avviene in piccola parte per irraggiamento (30%) ed in quantità consistente per convezione (70%). Quelli in alluminio hanno un costo contenuto, sono leggeri e caratterizzati da una bassissima inerzia termica.</p>
<p>PIASTRE RADIANTI a convezione naturale</p>		<p>Sono piastre saldate tra loro al cui interno si trova il fluido termovettore. Lo scambio di calore avviene in piccola parte per convezione ed in quantità consistente per irraggiamento. Funziona temperature più basse rispetto ai termosifoni ottenendo un risparmio energetico e una diffusione omogenea della temperatura nella stanza.</p>
<p>TERMOCONVETTORI a convezione naturale</p>		<p>E' una specie di termosifone in cui la superficie riscaldante è molto più ampia (tubi dotati di alette). L'aria calda, per convezione sale verso l'alto. L'aria fredda scende verso il basso e viene aspirata dalla parte bassa. Il sistema è più efficiente ma la caldaia deve lavorare di più. Non sono molto utilizzati. Sono utilizzati prevalentemente per il riscaldamento di palestre, auditori, fabbriche, ecc. Se il flusso viene creato da un ventilatore interno prendono il nome di aerotermi.</p>
<p>RADIATORI A BATTISCOPA a convezione naturale</p>		<p>Il sistema radiante (di dimensioni di circa 15 centimetri in altezza per 3 in larghezza) è posizionato lungo il perimetro delle stanze (in particolare lungo le pareti esterne) in sostituzione ai normali battiscopa. Il calore passa dal sistema e si distribuisce sulle pareti con duplice effetto: riscalda le superfici interne dei muri che a loro volta irradiano calore all'interno della stanza e tengono asciutti i muri dall'eventuale possibile presenza di umidità.</p>
<p>VENTILCONVETTORI "FANCOIL" a convezione forzata</p>		<p>Funziona come un termoconvettore. L'aria viene filtrata e spinta verso lo scambiatore di calore da un ventilatore pertanto hanno bisogno di alimentazione elettrica. Se collegato con un refrigeratore può essere usato come condizionatore. In questo caso l'aria viene raffrescata e deumidificata.</p>
<p>PANNELLI RADIANTI a scambio termico radiativo</p>		<p>La posa in opera delle tubazioni con interassi molto ravvicinati e lo scorrimento dell'acqua a una temperatura compresa fra i 25 e i 40°C, permettono di riscaldare l'ambiente per irraggiamento (in piccola parte per convezione), mantenendo temperature del pavimento molto basse. Hanno inerzia molto elevata e generalmente si impiegano in ambienti con superfici molto ampie.</p>
<p>PANNELLI RADIANTI a scambio termico radiativo</p>		<p>Simile a quello a pavimento ma meno invasivo. Non adatto per altezza soffitti oltre i 3,5 m circa.</p>
<p>PANNELLI RADIANTI a scambio termico radiativo</p>		<p>Simile a quello a pavimento ma meno invasivo. Meno adatti dei precedenti in caso di superfici calpestabili molto ampie (chiese, musei ecc.).</p>

DIMENSIONAMENTO DI UN RADIATORE



GRANDEZZE CARATTERISTICHE

T_m = temperatura mandata °C

T_r = temperatura ritorno °C

T_{media} radiatore = $(T_m + T_r) / 2$ °C

Salto medio radiatore :

$\Delta T_m = T_{media} - T_a$ °C

$T_a = 20^\circ\text{C}$ (dell'ambiente riscaldato)

Con caldaia tradizionale

$T_m = 80^\circ\text{C}$ e $T_r = 60^\circ\text{C}$

$T_{media} = 70^\circ\text{C}$

$\Delta T_m = 50^\circ\text{C}$

Con caldaia a condensazione

$T_m = 55^\circ\text{C}$ e $T_r = 45^\circ\text{C}$

$T_{media} = 50^\circ\text{C}$

$\Delta T_m = 30^\circ\text{C}$

SCHEDA CATALOGO DEL FORNITORE

Modello	Profondità	Altezza	Interasse	Larghezza	Diametro connessioni	Contenuto acqua	Potenza ΔT 50K	Potenza ΔT 30K	Esponente	Coefficiente
	mm	mm	mm	mm	pollici	litri/elem.	watt/elem.	watt/elem.	n	K_m
CALIDOR80 B2 500/80	77	556	500	80	G1	0,24	100,2	51,8	1,2935	0,6358
CALIDOR80 B2 600/80	77	658	600	80	G1	0,28	114,9	59,8	1,2774	0,7765
CALIDOR80 B2 700/80	77	757	700	80	G1	0,39	132,7	68,7	1,2878	0,8608
CALIDOR80 B2 800/80	77	858	800	80	G1	0,42	147,1	75,6	1,3031	0,8984

Esempio locale che necessita di 1000 w di potenza termica.

Caldaia tradizionale con $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

MODELLO CALIDOR 500/80 $\rightarrow Q_n = 100,2$ watt/elem. $\rightarrow n$ elementi = $1000 / 100,2 = 10$

Caldaia a condensazione $\Delta T = 30^\circ\text{C}$

MODELLO CALIDOR 500/80 $\rightarrow Q_n = 51,8$ watt/elem. $\rightarrow n$ elementi = $1000 / 51,8 = 20$

Come si calcola numero elementi con salto medio non STANDARD?

Caldaia a condensazione con $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ ($T_m = 50$ e $T_r = 40$)

Se il ΔT_{medio} con cui si fa lavorare la caldaia non è presente nella tabella si deve usare l'equazione caratteristica del modello di radiatore scelto:

$Q_n = K_m \Delta T^n$ con K_m e n forniti dal costruttore (NB. Con $\Delta T = 30$ ottengo 51,8!)

$Q_n = 0,6358 * 25^{1,2935} = 40,88$ w $\rightarrow n$ elementi = $1000 / 40,88 = 25$

Esempio di scheda da catalogo radiatori della GLOBAL

Modello	Dimensioni in mm				Ø attacchi	Peso a vuoto Kg circa	Contenuto acqua in litri	Potenza termica EN 442				Esponente n.	Coefficiente Km
	A	B	C	D				ΔT 50°C		ΔT 60°C			
	altezza totale	lunghezza	profondità	interasse				Watt	*Kcal/h	Watt	*Kcal/h		
EKOS PLUS 2000	2070	50	95	2000	1"	3,34	0,65	196	169	250	215	1,33285	1,06514
EKOS PLUS 1800	1870	50	95	1800	1"	3,05	0,59	178	154	227	196	1,33883	0,94330
EKOS PLUS 1600	1670	50	95	1600	1"	2,76	0,53	160	138	204	176	1,34480	0,82963
EKOS PLUS 1400	1470	50	95	1400	1"	2,46	0,49	143	123	182	157	1,32938	0,78649
EKOS PLUS 1200	1270	50	95	1200	1"	2,16	0,44	126	109	160	138	1,31396	0,73725
EKOS PLUS 1000	1070	50	95	1000	1"	1,88	0,36	109	94	138	119	1,28835	0,70844
EKOS PLUS 900	970	50	95	900	1"	1,73	0,31	101	87	128	110	1,27555	0,68929
EKOS 800/95	868	50	95	800	1"	1,77	0,68	87	75	110	95	1,29916	0,53732
EKOS 700/95	768	50	95	700	1"	1,49	0,63	78	67	98	85	1,29022	0,49989
EKOS 600/95	668	50	95	600	1"	1,36	0,58	69	60	87	75	1,28127	0,46027
EKOS 500/95	568	50	95	500	1"	1,11	0,50	61	53	76	66	1,26879	0,42369
EKOS 800/130	883	50	130	800	1"	1,92	0,66	108	93	137	118	1,29675	0,67867
EKOS 600/130	683	50	130	600	1"	1,56	0,54	87	75	110	95	1,27355	0,59635

* 1 Watt = 0,863 Kcal/h

La potenza termica dei radiatori GLOBAL è quella risultante dalle prove effettuate dal Dipartimento di Energetica presso la Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Milano secondo la Norma EN 442.

Esempio di calcolo per ΔT diverso da 50° C

Per calcolare la potenza termica (P) di un radiatore per valori di ΔT diversi da 50° C si deve utilizzare l'equazione caratteristica: $P = Km \cdot \Delta T^n$

EKOS PLUS

Ad esempio per il modello 1600 a ΔT= 60° C
 $P = 0,82963 \cdot 60^{1,34480} = 204 \text{ Watt}$

EKOS

Ad esempio per il modello 600/95 a ΔT= 60° C
 $P = 0,46027 \cdot 60^{1,28127} = 87 \text{ Watt}$

Valori di potenze termiche con ΔT diverso da 50° C

Modello	ΔT 20°C	ΔT 25°C	ΔT 30°C	ΔT 35°C	ΔT 40°C	ΔT 45°C	ΔT 50°C	ΔT 55°C	ΔT 60°C
EKOS PLUS2000	58	78	99	122	145	170	196	222	250
EKOS PLUS1800	52	70	90	110	132	154	178	202	227
EKOS PLUS1600	47	63	80	99	118	139	160	182	204
EKOS PLUS1400	42	57	72	89	106	124	143	162	182
EKOS PLUS1200	38	51	64	79	94	110	126	143	160
EKOS PLUS1000	34	45	57	69	82	96	109	124	138
EKOS PLUS 900	31	42	53	64	76	89	101	114	128
EKOS 800/95	26	35	45	54	65	76	87	98	110
EKOS 700/95	24	32	40	49	58	68	78	88	98
EKOS 600/95	21	28	36	44	52	60	69	78	87
EKOS 500/95	19	25	32	39	46	53	61	68	76
EKOS 800/130	33	44	56	68	81	95	108	123	137
EKOS 600/130	27	36	45	55	65	76	87	98	110

Termoarredi

Si dimensionano come i radiatori classici ma senza calcolare il numero di elementi (singolo blocco). Generalmente vengono installati nei bagni e usati per mantenere caldi asciugamani o accappatoi.



Modelli	Profondità (C) mm	Altezza (B) mm	Interasse (A) mm	Larghezza (D) mm	Contenuto (litri)	Potenza W (ΔT 30)	Potenza W (ΔT 50)	Potenza W (ΔT 70)	Espon. n	Coeff. (Km)
860/400	26	858	400	428	2,4	188	348	521	1,2015	3,1596
860/450	26	858	450	478	2,7	196	370	562	1,2443	2,8430
860/500	26	858	500	528	2,9	211	399	607	1,2468	3,0374
860/550	26	858	550	578	3,2	226	428	651	1,2492	3,2277
860/600	26	858	600	628	3,4	241	457	696	1,2517	3,4143
1160/400	26	1152	400	428	3,4	248	458	687	1,2029	4,1413
1160/450	26	1152	450	478	3,8	265	502	763	1,2479	3,8033
1160/500	26	1152	500	528	4,1	288	544	829	1,2487	4,1156
1160/550	26	1152	550	578	4,5	310	587	894	1,2495	4,4259
1160/600	26	1152	600	628	4,9	333	630	959	1,2502	4,7339
1490/400	26	1488	400	428	4,4	322	595	892	1,2045	5,3470
1490/450	26	1488	450	478	4,8	347	658	1002	1,2520	4,9057
1490/500	26	1488	500	528	5,2	378	717	1092	1,2509	5,3720
1490/550	26	1488	550	578	5,7	410	776	1182	1,2509	5,8423
1490/600	26	1488	600	628	6,1	441	835	1271	1,2486	6,3166
1740/400	26	1740	400	428	5,3	379	707	1065	1,2182	6,0193
1740/450	26	1740	450	478	5,7	413	778	1181	1,2406	6,0741
1740/500	26	1740	500	528	6,3	451	850	1291	1,2408	6,6300
1740/550	26	1740	550	578	6,8	489	922	1400	1,2410	7,1851
1740/600	26	1740	600	628	7,5	527	994	1509	1,2412	7,7391

ELEMENTI COMPLEMENTARI AI RADIATORI

Su ogni **radiatore** vengono montate le **valvole di sfianto** per eliminare possibili sovrappressioni; queste possono essere manuali o automatiche. Quest'ultima è comandata da un galleggiante che si trova ad un determinato livello d'acqua e, quando questa si abbassa per la presenza di aria nel termosifone, dà l'impulso per far uscire automaticamente l'aria dal condotto. Il **tappo igroscopico di sicurezza** in caso di guasto del sistema a galleggiante evita la fuoriuscita dell'acqua.

Nei radiatori si possono anche riconoscere una **valvola termostatica** e un **detentore**.

Il **detentore** è impiegato sia per equilibrare il flusso idrico nei radiatori, regolandolo, nel corso della messa a punto dell'impianto stesso, sia per chiudere, in alcune occasioni, il circuito di ritorno per compiere le varie operazioni con il detentore, che è collocato in basso nel corpo del radiatore, si svita prima la borchia posta a copertura del foro centrale, quindi si introduce un'ideale chiave a brugola; La **valvola termostatica**, invece, ha lo scopo di regolare l'operatività del radiatore, in base alla temperatura ambientale richiesta nel locale. Altri elementi accessori ai radiatori sono i **supporti** necessari per ancorarli alle pareti.



GLI ELEMENTI DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE

Ogni rete di distribuzione, dal punto di vista geometrico, si può schematicamente suddividere in:

- ▶ collettori orizzontali;
- ▶ colonne (montanti o discendenti);
- ▶ diramazioni alle utenze.

I **collettori** sono parti di un impianto idrico a sviluppo orizzontale dai quali si dipartono le colonne montanti o discendenti di una rete di distribuzione.

I collettori sono utilizzati per il controllo e la distribuzione del fluido nei circuiti sanitari. Vengono generalmente dotati di valvole di intercettazione con "volantino" di manovra per ogni singolo circuito e di etichette identificative dell'apparecchio servito.



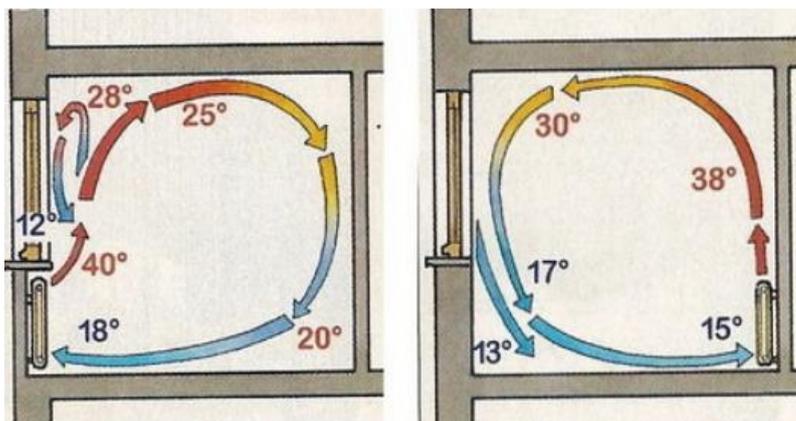
Collettore semplice, componibile, con valvole di intercettazione.

POSA DEI RADIATORI

All'interno di un locale l'aria riscaldata si muove in modo diverso, secondo se il radiatore è collocato sotto la finestra e quindi in prossimità di una parete esterna, più fredda, oppure è appoggiato a una parete interna.

Nel primo caso l'aria calda salendo verso il soffitto si distribuisce in modo più uniforme e perde meno gradi durante il suo percorso, garantendo un comfort migliore.

Nel prevedere la misura dei corpi scaldanti, si deve aggiungere almeno 7÷10 cm per l'attacco e relativa valvola; all'altezza vanno aggiunti, in basso, almeno 10 cm per il passaggio dell'aria e per la pulizia e, in alto, almeno 15 cm per consentire il libero movimento ascensionale dell'aria calda; alla profondità vanno aggiunti almeno 3 cm di distanza dal filo della parete finita a cui si addossa il corpo scaldante.



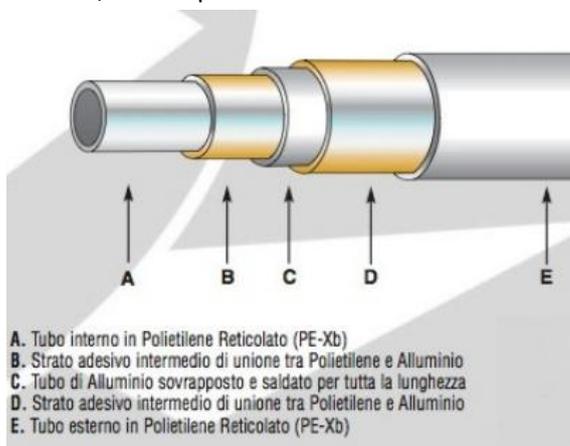
RETI DI DISTRIBUZIONE ACQUA CALDA

È costituita essenzialmente dall'insieme delle tubazioni di mandata e di ritorno, in RAME, MULTISTRATO o PEX, che collegano la caldaia ai termosifoni.

I tubi in multistrato sono costituiti dall'accoppiamento di materiale plastico e alluminio. Il costo è più basso, rispetto al rame, e maggiormente lavorabile. Sono caratterizzati da una ridotta rumorosità e una rugosità interna minore pertanto le perdite di carico sono basse. Viene usato anche negli impianti di distribuzione dell'acqua calda sanitaria.

Rispetto ai tubi in solo PEX (polipropilene reticolato), la presenza dello strato di alluminio garantisce una barriera nei confronti dell'ossigeno e degli altri gas e ne aumenta la resistenza allo schiacciamento.

Generalmente, negli impianti di riscaldamento di edifici civili, l'acqua calda (tra i 50 ed i 90°C) partendo dalla caldaia, percorre le tubazioni di mandata, riscalda i radiatori e quindi l'ambiente, e ritorna a temperatura più fredda alla caldaia stessa. Per limitare le dispersioni, le tubazioni della rete di distribuzione debbono essere protette da un adeguato strato di materiale isolante, il cui spessore, fissato dalla normativa, dipende dal diametro della tubazione, dal tipo di isolante, e dalla parete che attraversa.



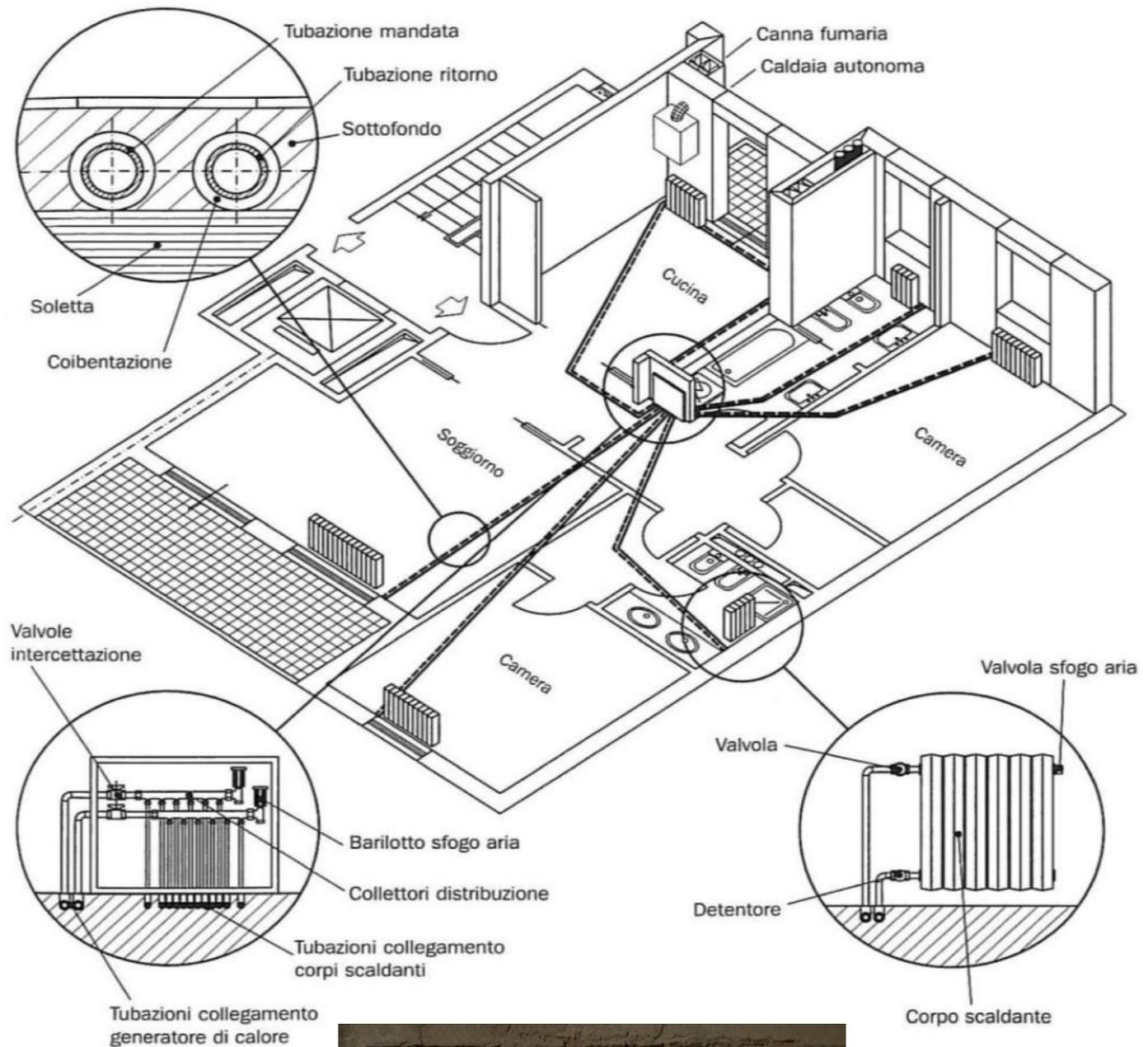
PEX diametri tipici	De mm	Di mm
	12	8
	15	10
	18	13
	20	16
	28	20

Codice	Dimensione	Confezione min
0620019	16 X2,0 - AL 0,20	50
0620027	18 X2,0 - AL 0,20	50
0620008	20 X2,0 - AL 0,25	50
0620015	26 X3,0 - AL 0,35	25
0620075	32 X3,0 - AL 0,40	25

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO A COLLETTORE COMPLANARE

Viene utilizzato un collettore installato in una posizione bari centrale della planimetria. Ciò permette di avere lunghezze dei tubi che vanno ai radiatori simili fra loro (facilita il **bilanciamento**).

I tubi che dal collettore vanno ai radiatori devono avere la minor lunghezza possibile evitando incroci con altri



tubi e angoli di curvatura se possibile, La foratura

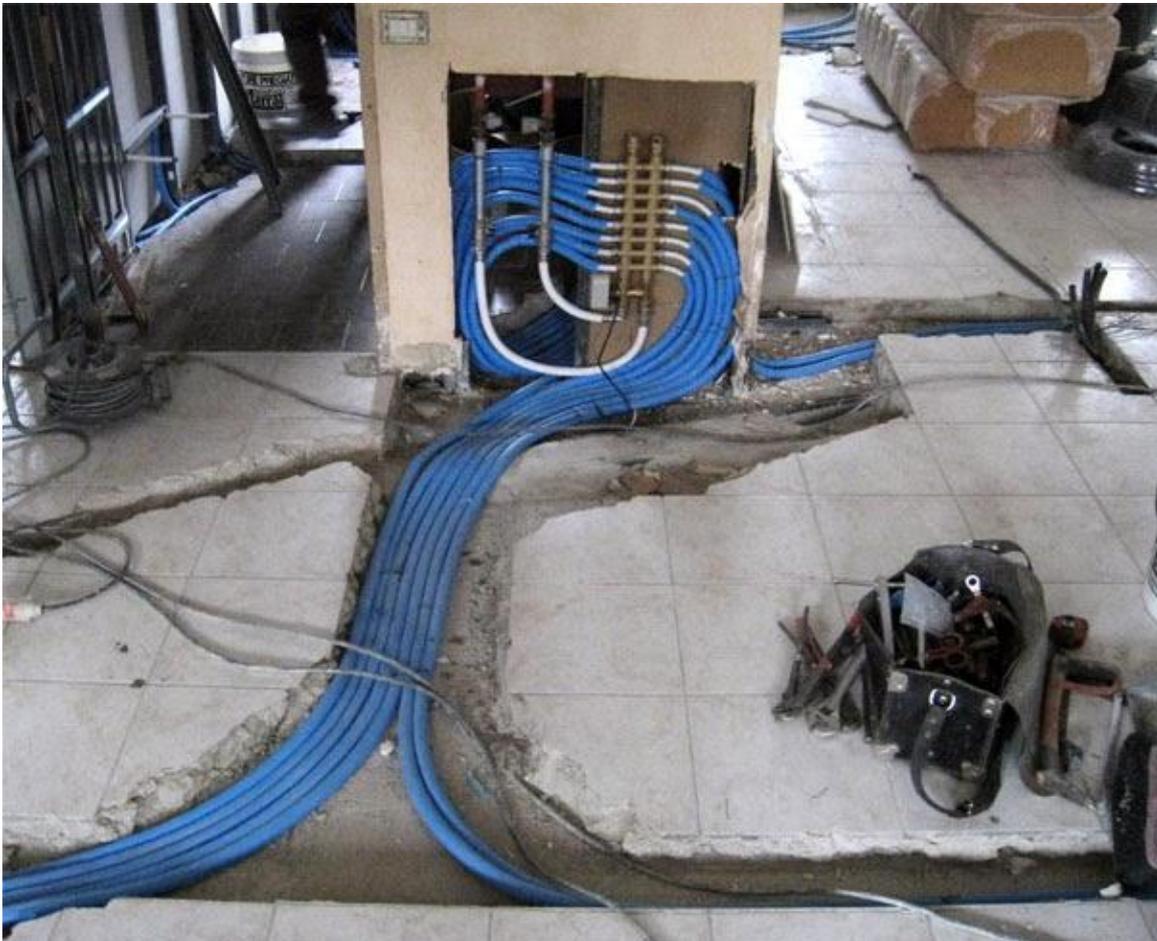


troppo stretti. Ridurre inoltre, delle pareti interne .

Impianto nuovo



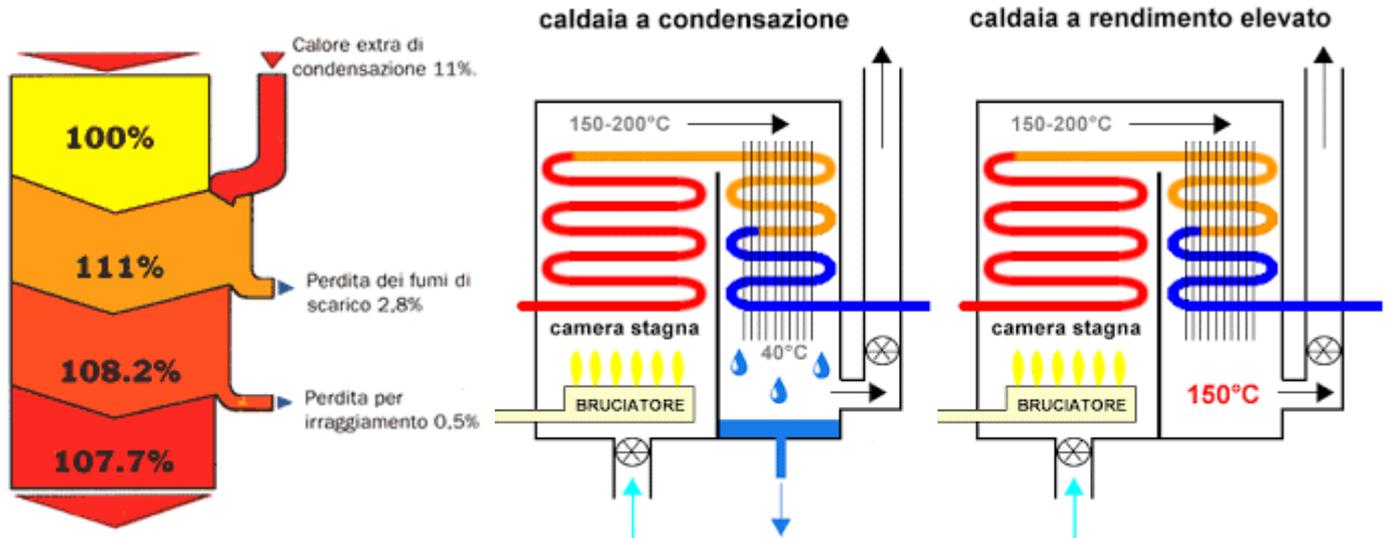
Riqualificazione



SCelta DELLA CALDAIA

La scelta oggi è limitata tra caldaia TRADIZIONALE ad alto rendimento e caldaia A CONDENSAZIONE.

Le caldaie a condensazione sono caldaie caratterizzate da un alto rendimento, grazie al fatto che si recupera il calore di condensazione del vapore acqueo contenuto nei fumi della combustione che invece nelle caldaie tradizionali viene convogliato verso l'esterno.



Indicativamente in un'abitazione con un isolamento standard e ubicata dove la temperatura esterna invernale media è di -5° , il fabbisogno per il riscaldamento può essere stimato in 60 W/mc (CLASSE B).

Ad esempio, un'abitazione di 100 mq per essere riscaldata ha bisogno di:

$$100 \times 60 \text{ W/m}^2 = 6000 \text{ w} = 6 \text{ KW}$$

Per la produzione di acqua sanitaria si tenga presente che una doccia necessita di circa 9 lt/minuto e richiede una potenza termica **istantanea** data da:

$$\text{Potenza} = Ct \times \text{massa} \times \Delta T \text{ [w]}$$

$$\text{Potenza} = Ct \times [\text{lt/ora} \times \text{minuti}] \times \Delta T \text{ [w]} \quad \text{con } Ct = \text{capacità termica} = 4,186 \text{ Kj/Kg } k = 1 \text{ Kcal}$$

dove ΔT è differenza temperatura tra acqua di produzione (40° - 45°) e quella entrante di rete (10° in inverno e 25° in estate). Assumendo $\Delta T = 40^{\circ} - 10^{\circ} = 30^{\circ}$:

$$\text{Potenza} = 1 \times [10 \text{ lt minuto} \times 60 \text{ min.}] \times 30 = 600 \text{ l/ora} \times 30 = 18.000 \text{ Kcal} / 0.86 = 20.93 \text{ kW}$$

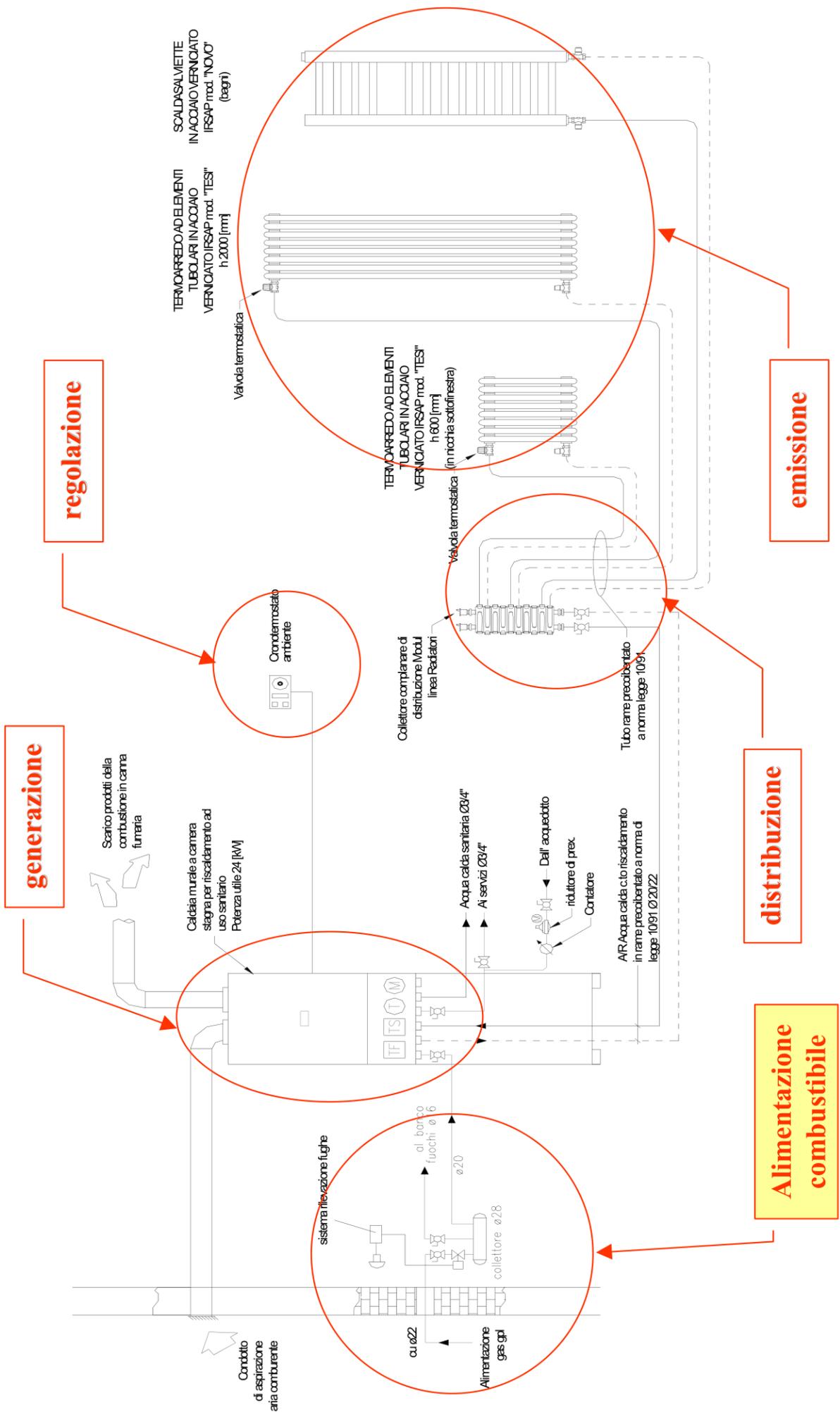
Possiamo quindi utilizzare una caldaia da 24 kW (le taglie tipiche sono $21, 24-25, 28-29, 34-35 \text{ Kw}$).

Abitazioni con 2 bagni o lavandini che vengono usati contemporaneamente si considera un fabbisogno di acqua calda sanitaria (ACS) indicativo di 16 lt/min e di conseguenza si opta per una caldaia da 35 Kw , il massimo previsto per gli impianti civili.

Oltre i 35 Kw si passa nell'industriale con normative più stringenti da rispettare.

Alternativamente, per situazioni con maggiori utilizzi contemporanei di (ACS) si dovrà provvedere con caldaie provviste di serbatoio di accumulo, che fungono da volano termico, per supportare la richiesta contemporanea.





Disegno impianto termico con radiatori a collettore complanare

LEGENDA SIMBOLI	
	TERMOARREDO
	RADIATORE
	CRONOTERMOSTATO AMBIENTE
	CALDAIA MURALE PER ESTERNO
	COLLETTORE

Attenzione a

- Individuare percorsi a lunghezza inferiore
- Evitare di forare le muratura per passaggio tubi
- Evitare di accavallare le tubature
- Ricordarsi dei tubi principali di mandata e ritorno della caldaia

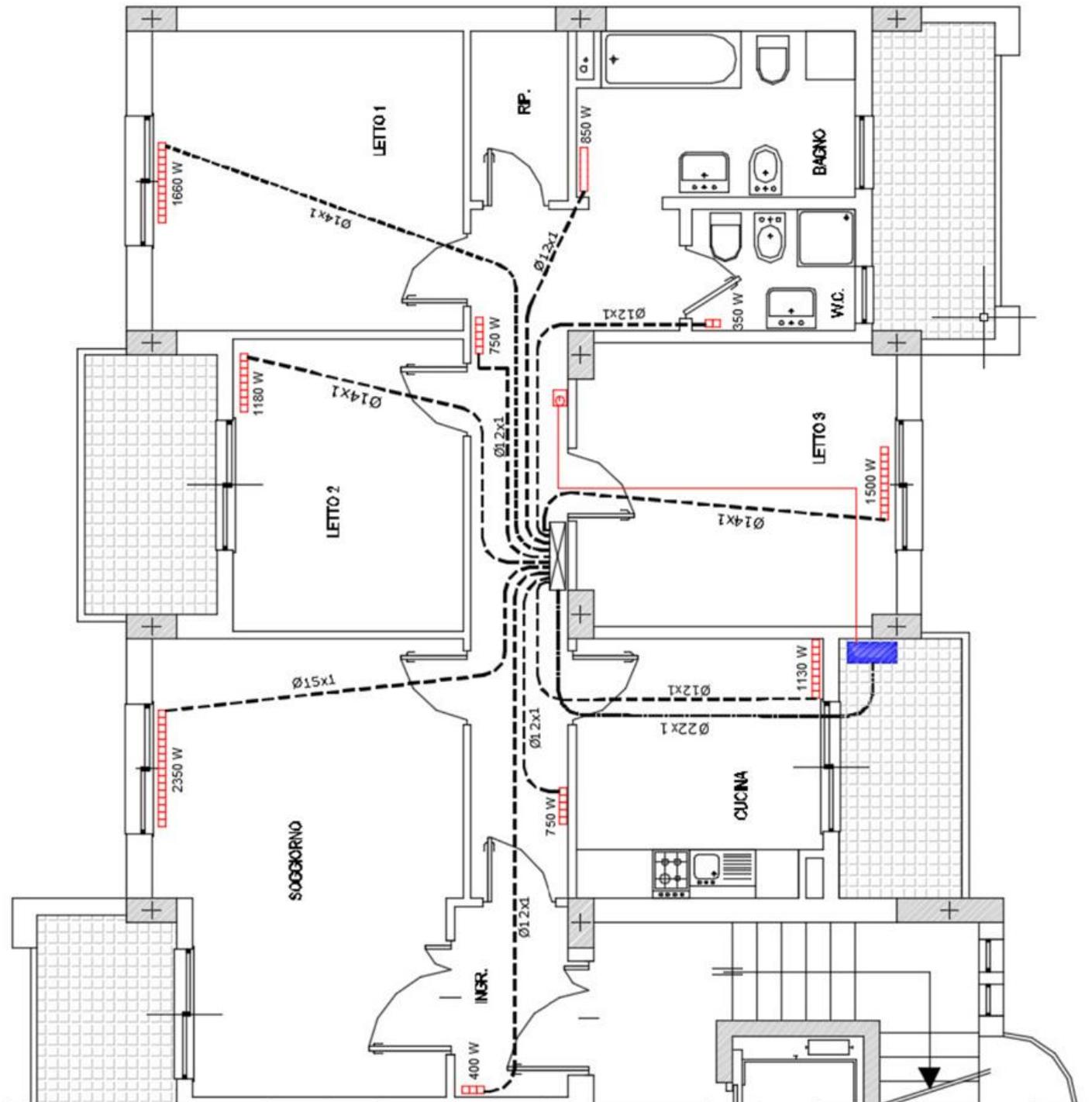


Tabella riassuntiva impianto termico con radiatori a collettore complanare

Dopo aver disegnato l'impianto termico si procede alla compilazione di una tabella riassuntiva per la scelta dei diametri commerciali dei tubi e il successivo calcolo delle perdite di carico.

Le velocità indicative nei tubi sono

Nei tubi che convogliano acqua per il riscaldamento o per il condizionamento, il valore ottimale della velocità dipende essenzialmente da quattro fattori: l'entità delle perdite di carico, la rumorosità, la corrosione-erosione e il trascinamento dell'aria.

TAB. 1 - Velocità (m/s) consigliate per reti ad acqua calda e refrigerata

	tubazioni principali	tubazioni secondarie	derivazioni ai corpi scaldanti
tubi in acciaio	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7
tubi in rame	0,9 ÷ 1,2	0,5 ÷ 0,9	0,2 ÷ 0,5
tubi in mat. plastico	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7

Locale	Potenza radiatore	Portata di acqua kg/s	Diametro tubi mm	Lunghezza tubi (M+R)	Curve e valvole
Camera 1	calidor 700/80 10 elementi Pot= 1100 watt $P= m Ct (Tm-Tr)$	0,14 Kg/s $m= P / Ct (Tm-tr)$	Multistrato 14x2 Fisso $v = 0.5 \text{ m/s}$ $m = \rho v (3.14 d^2/4)$ $d = (4m/ \rho v 3.14)^{0.5}$	16 m	4 curve 90 2 curve ampie Valvola squadro Detentore squadro 2x collettore
Camera 2	calidor 700/80 12 elementi Pot= 1400 watt	0,16 Kg/s	Multistrato 14x2	17 m	3 curve 90 2 curve ampie Valvola squadro Detentore squadro 2x collettore
Bagno 1	Termo arredo della Global Pot= 750 watt	0,1 Kg/s	Multistrato 14x2	12 m	2 curve 90 2 curve ampie Valvola squadro Detentore squadro 2x collettore
Disimpegno					
Soggiorno + angolo cottura					
Tratto caldaia / collettore		0,7 Kg/s	Multistrato 18x2	14 m	2 curve 90 2x collettore

NB: ogni circuito ha un numero fisso di 6 curve a 90°, 1 detentore + valvola sul radiatore e due valvole sul collettore.

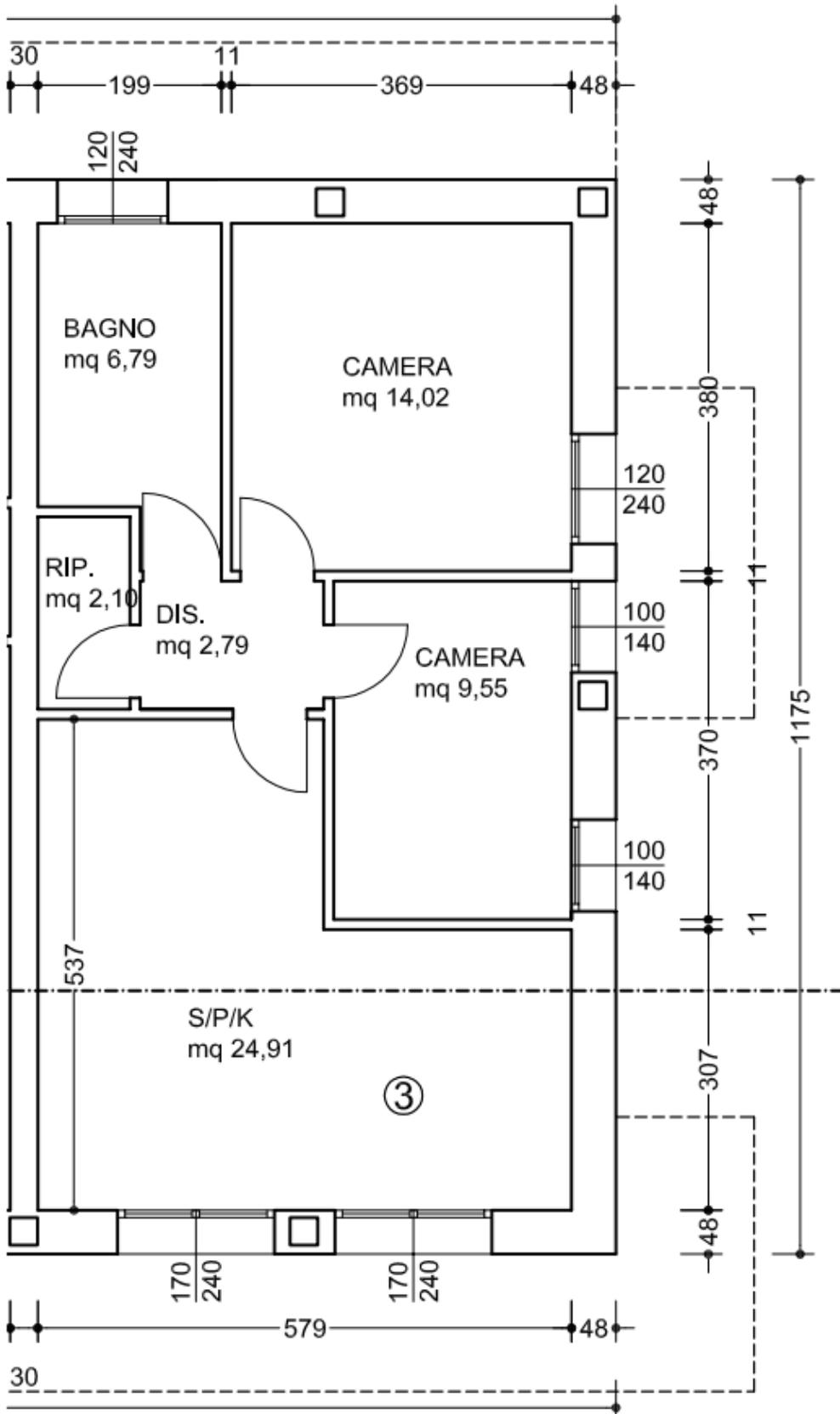
A questo punti si possono valutare le perdite di carico distribuite e localizzare di ogni circuito e verificare se il circolatore della caldaia (pompa) è in grado di vincerle.

Successivamente si individua il circuito più sfavorito e si procede al bilanciamento dell'impianto.

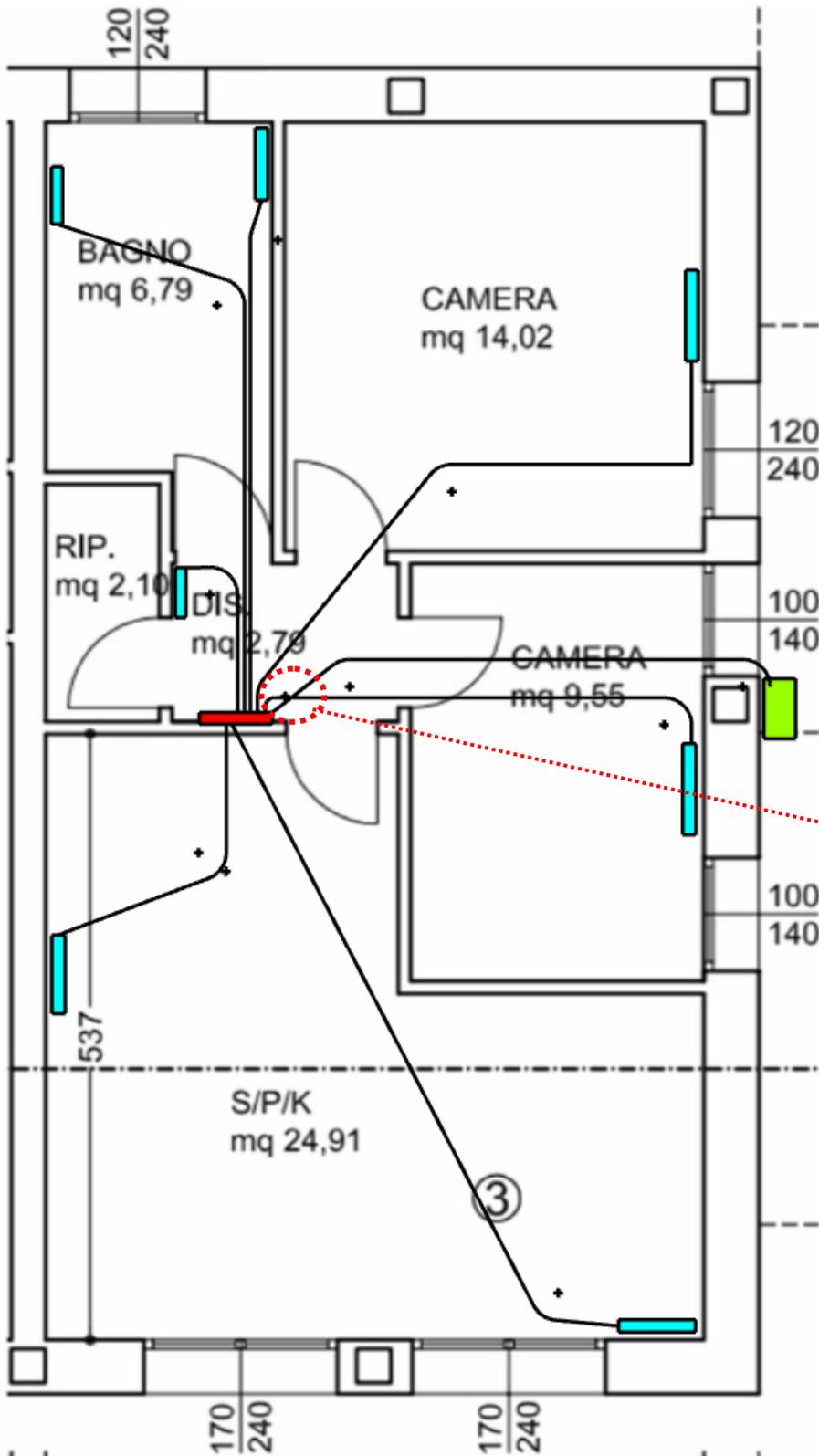
EX. 1 - Dimensionare impianto a radiatori per l'appartamento

Fabbisogno termico nel periodo più freddo dell'anno in appartamento = 180 watt/m² (250 w per il bagno).

Altezza sotto finestra = 110 cm. Dopo il disegno compilare tabella con i seguenti dati per ogni locale: lunghezza totale tubi mandate e ritorno, numero di curve a 90° e numero di curve maggiori di 90°.



Soluzione 1

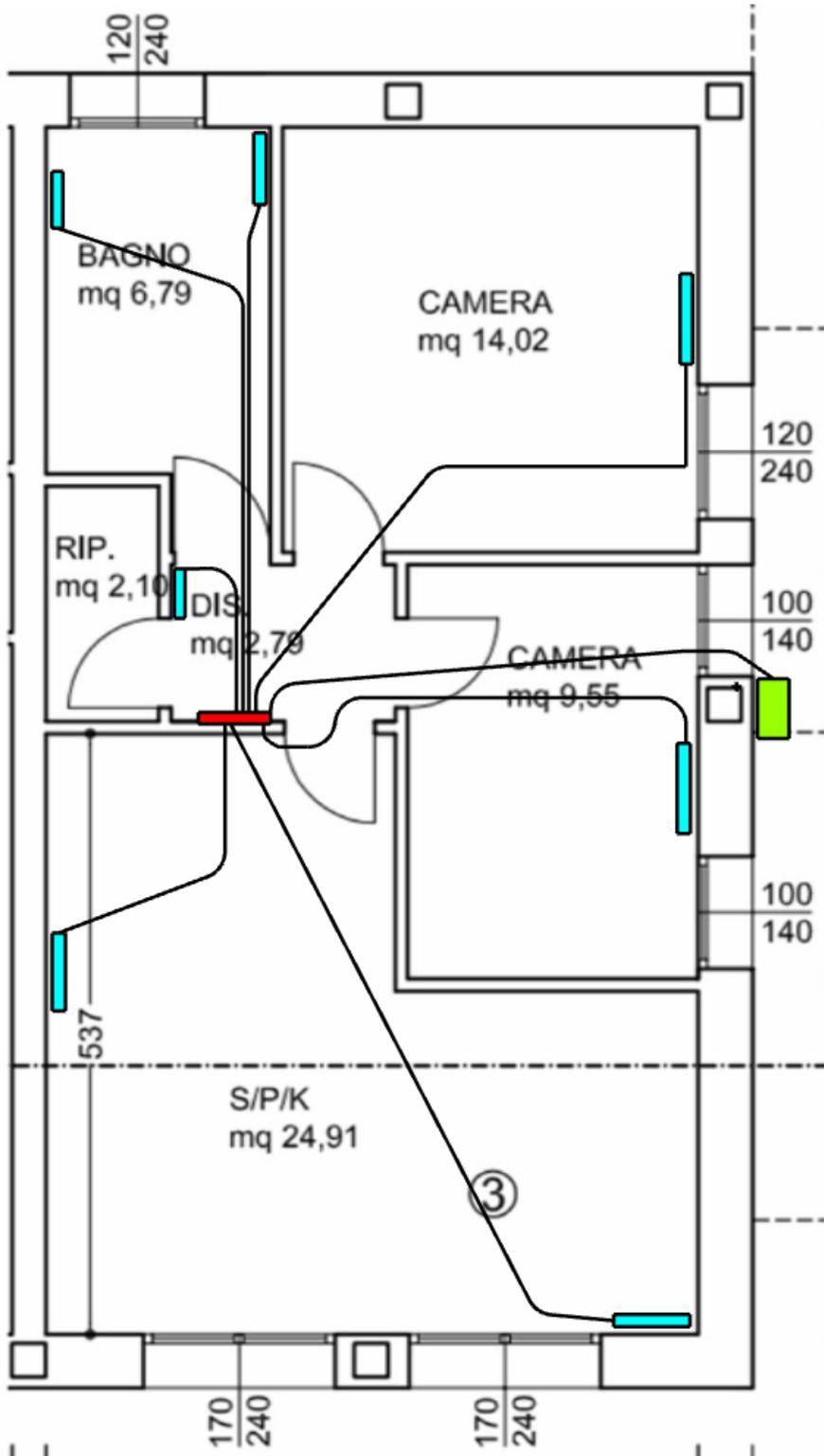


Nella camera piccola se possibile mettere radiatore sotto la finestra se no sulla parete fredda

**accavallamento
meglio evitare!**

In locali grandi meglio sdoppiare il radiatore in due e metterli contrapposti per rendere omogenea la T

Soluzione 2



Foglio di calcolo per dimensionamento radiatori e diametro tubi

DIMENSIONAMENTO RADIATORI E TUBATURE

Largh. eler	0,08 m
Qn 800/80	147,1 w
Qn 700/80	132,7 w

Fabbisogno MAX.	180 w/m2	Bagno	250 w/m2
-----------------	----------	-------	----------

Locali	Area tot. m2	Potenza tot. W	N. elem. Radiat.	Larghezza radiatore m	Portata acqua Kg/s	Velocità m/s	D int. tubo mm	D int. eff. mm	Velocità eff. m/s	Lungh. tot. in m	N. Curve 90	N. Curve >90
Camera 1 modello 800	14,02	2524	18	1,4	0,0603	0,5	12,4	14	0,39	22	1	2

Potenza = Area x Fabbisogno MAX. = 14,02 x 180 = 2523,6 watt

N. elementi radiatore = Potenza / Qn = 2524 / 147 = 17,15568 = 18 elementi

Larghezza del radiatore = N.el x L = 18 x 0,08 = 1,44 m

Portata "m" di acqua del radiatore (DT = 10°C) = Pot / Ct x DT = 2524 / 4186 x 10 = 0,0603 Kg/s 217 l/h

Area tubo = m / densità x velocità = 0,06 / 1000 x 0,5 = 0,000120573 m2

Diametro del tubo = (4 x Area / 3,14)^0,5 = 0,01239341 m 12,4 mm

Il diametro commerciale più vicino è quello da 14 mm (18x2) quindi essendo + grande la velocità cala

Area del tubo commerciale = 3,14 * D^2 / 4 = 0,000154 m2

Velocità effettiva acqua nel tubo = m / densità x area = 0,39 m/s

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Radiatori fondital												
2	Larghezza elem.	0,08 m											
3	Qn 800	147,1 w											
4	Qn 700	132,7 w											
5	Bagno												
6	Fabbisogno MAX. abitazione	180 w/m2	250 w/m2										

	Locali	Area m2	Fabbisogno termico W	N. elementi radiatore	Larghezza radiatore m	Portata acqua Kg/s	Velocità acqua m/s	D int. tubo mm	D int. eff. commerc.	velocità effettiva	Lunghezza tot. tubi in m	Curve 90	Curve >90
9	Camera 1 modello 800	14,02	2524	18	1,4	0,0603	0,5	12,4	14	0,39	22	1	2
10	Camera 2 modello 800	9,55	1719	12	1,0	0,0411	0,5	10,2	12	0,36	15	4	0
11	Bagno * modello 800	6,79	1698	12	1,0	0,0406	0,5	10,2	12	0,36	18	0	1
12	Rip + dis. modello 800	4,89	880	6	0,5	0,0210	0,5	7,3	10	0,27	5	1	0
13	Sala + cucina R1 modello 800	12,455	2242	16	1,3	0,0536	0,5	11,7	12	0,47	8	0	1
14	Sala + cucina R2 modello 800	12,455	2242	16	1,3	0,0536	0,5	11,7	12	0,47	25	0	1
16	CALDAIA					0,2700	1	18,5	18	1,06	93		

18 * In bagno si può sostituire radiatore con un termoarredo o aggiungere un termoarredo in aiuto al radiatore

20 Tutte le velocità dell'acqua nei tubi sono accettabili. Se la velocità scende sotto 0,1 m/s bisogna ridurre il DT nel radiatore per aumentare la velocità.

22 Tabella commerciali tubi multistrato

Interno	Esterno	Sigla
10	14	14x2
12	16	16x2
14	18	18x2
16	20	20x2
20	26	25x3

=GRANDE(\$A\$24:\$A\$28;CONTA.SE(\$A\$24:\$A\$28;">"&H9))

Foglio di calcolo per le perdite di carico nell'impianto

L'acqua che scorre nelle tubature deve vincere l'attrito con le pareti (perdite continue) e le perdite di energia dovute a brusche variazioni nella direzione del fluido (perdite localizzate).

Il coefficiente di attrito "f" si può trovare con formule empiriche (o abaco di Moody) nota la rugosità del tubo, la viscosità del fluido e il numero di Reynolds : $Re = v D / \text{viscosità}$ con $\text{viscosità}_{H_2O} (20^\circ C) = 1,1 \cdot 10^{-6}$

$Y_c = f L/D v^2/2g$ [m] → moltiplicare x ρg per ottenere i Pascal (perdita di pressione).

Le perdite localizzate invece si calcolano tramite coefficienti "K" adimensionali legati alla geometria del tubo o elemento attraversato dal fluido.

$Y_l = K \cdot v^2/2g$ [m] → moltiplicare x ρg per ottenere i Pascal (perdita di pressione).

La somma delle due tipologie di perdite da quella TOTALE dell'impianto.

CALCOLO PERDITE PER ATTRITO NEI TUBI

una approssimazione della formula di Colebrook-White, valida per $Re > 4000$, dove ϵ è la scabrezza equivalente in mm:

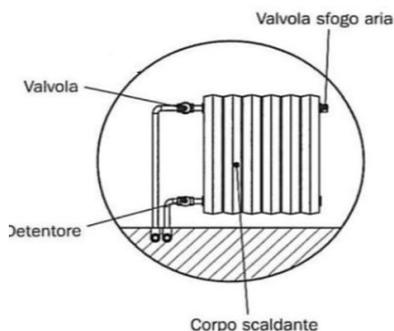
$$f = \frac{0.25}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.5D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Rugosità PEX ϵ	0,007	mm
-------------------------	-------	----

Locali	acqua Kg/s	effett. m/s	D int. eff. mm	Lunghezza tubi m	numero di Re	ϵ/D	Coeff. attrito	Perdite Y_c m	Perdite Δp Pa
Camera 1	0,0603	0,39	14	22	4987	0,00050	0,038	0,464	4547
Camera 2	0,0411	0,36	12	15	3963	0,00058	0,040	0,339	3321
Bagno	0,0406	0,36	12	18	3914	0,00058	0,040	0,398	3900
Rip + dis.	0,0210	0,27	10	5	2435	0,00070	0,046	0,085	832
Sala + cucina R1	0,0536	0,47	12	8	5169	0,00058	0,037	0,285	2792
Sala + cucina R2	0,0536	0,47	12	25	5169	0,00058	0,037	0,889	8726
CALDAIA	0,2700	1,06	18	15	17374	0,00039	0,027	1,281	12563

CALCOLO PERDITE LOCALIZZATE

K coefficienti perdita localizzate		
tipologia	D 8-16	D 18-28
k curve 90 norm.	1,5	1
K curve >90	1	0,5
Valvola radiat.	4	4
Detentore	1	1
Radiatore	3	3
Caldaia	3	3
Filtri caldaia	5	5



Il circuito di ogni radiatore, in generale, presenta minimo 4 curve 90° lato radiatore e 2 curve 90° lato collettore. Il circuito caldaia presenta minimo 6 curve 90° lato caldaia e 4 curve 90° lato collettore. Per entrambi abbiamo poi due passaggi nel collettore.

Locali	Portata acqua Kg/s	velocità effett. m/s	D int. eff. mm	K Curve 90°	K Curve >90°	K Valvole	K Detent.	K Altro	K tot	Y_l m	Y_c m	Y_{tot} m	Perdite Δp KPa
Camera 1	0,0603	0,39	14	7,5	2	16	1		26,5	0,21	0,46	0,67	6,6
Camera 2	0,0411	0,36	12	12	0	16	1		29	0,20	0,34	0,53	5,2
Bagno	0,0406	0,36	12	6	1	16	1		24	0,16	0,40	0,55	5,4
Rip + dis.	0,0210	0,27	10	7,5	0	16	1		24,5	0,09	0,08	0,17	1,7
Sala + cucina R1	0,0536	0,47	12	6	1	16	1		24	0,27	0,28	0,56	5,5
Sala + cucina R2	0,0536	0,47	12	6	1	16	1		24	0,27	0,89	1,16	11,4
CALDAIA	0,2700	1,06	18	9	1	16	1	8	35	2,01	1,28	3,29	32,3
+ SFAVORITO												4,46	43,7

Verifica del circolatore della caldaia

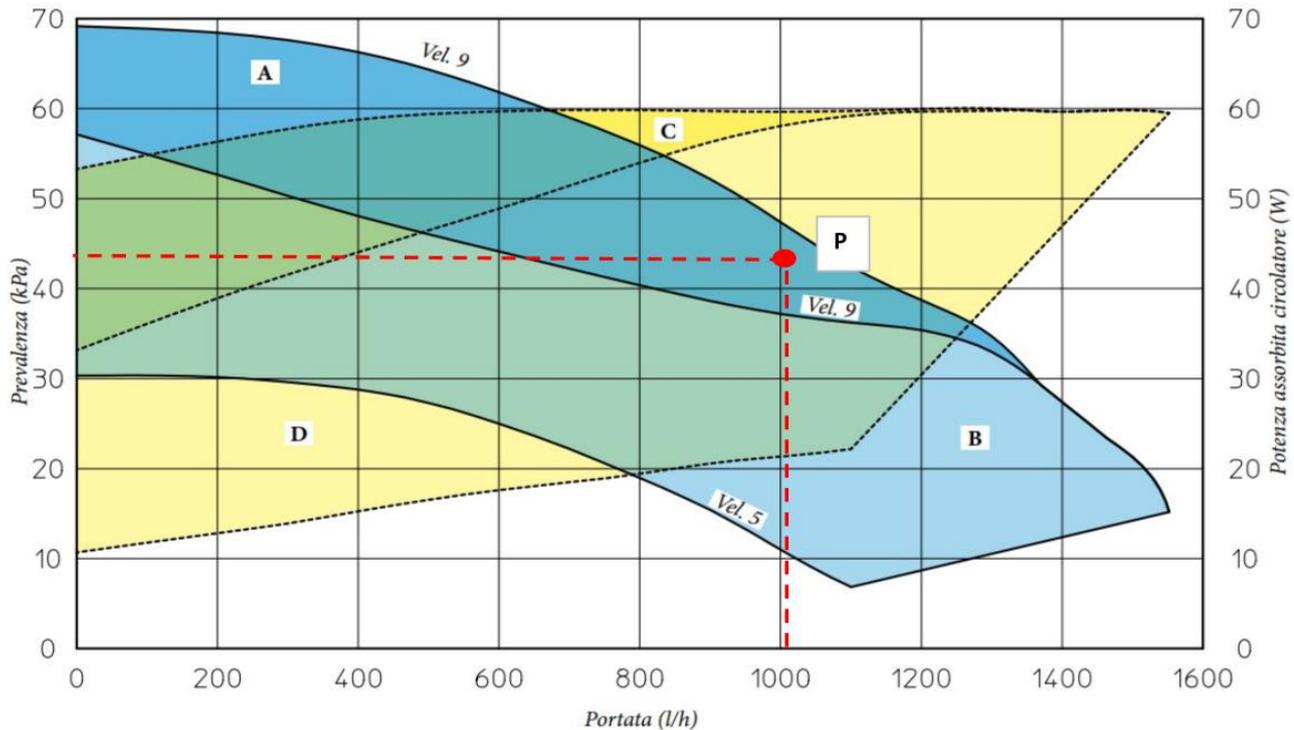
Prima di procedere è necessario recuperare il diagramma caratteristico del circolatore della caldaia selezionata.

Per il nostro esempio quello della Immergas Vitrix 28 TT.

La prevalenza è il salto di pressione che la pompa dentro la caldaia è in grado di fornire con una determinata portata. Se le perdite di carico massime dell'impianto sono maggiori della prevalenza della caldaia allora è necessario installare un circolatore aggiuntivo (in genere accade con grandi impianti di riscaldamento a pavimento e non con radiatori).

VERIFICA PREVALENZA DISPONIBILE ALL'IMPIANTO CON CALDAIA VITRIX IMMERGAS 28-35 TT

Il circuito più sfavorito CALDAIA + SALA R2 presenta una perdita di carico di **43,7 KPa** con una portata complessiva in caldaia di 0,27 Kg/s cioè pari a **972 l/h**

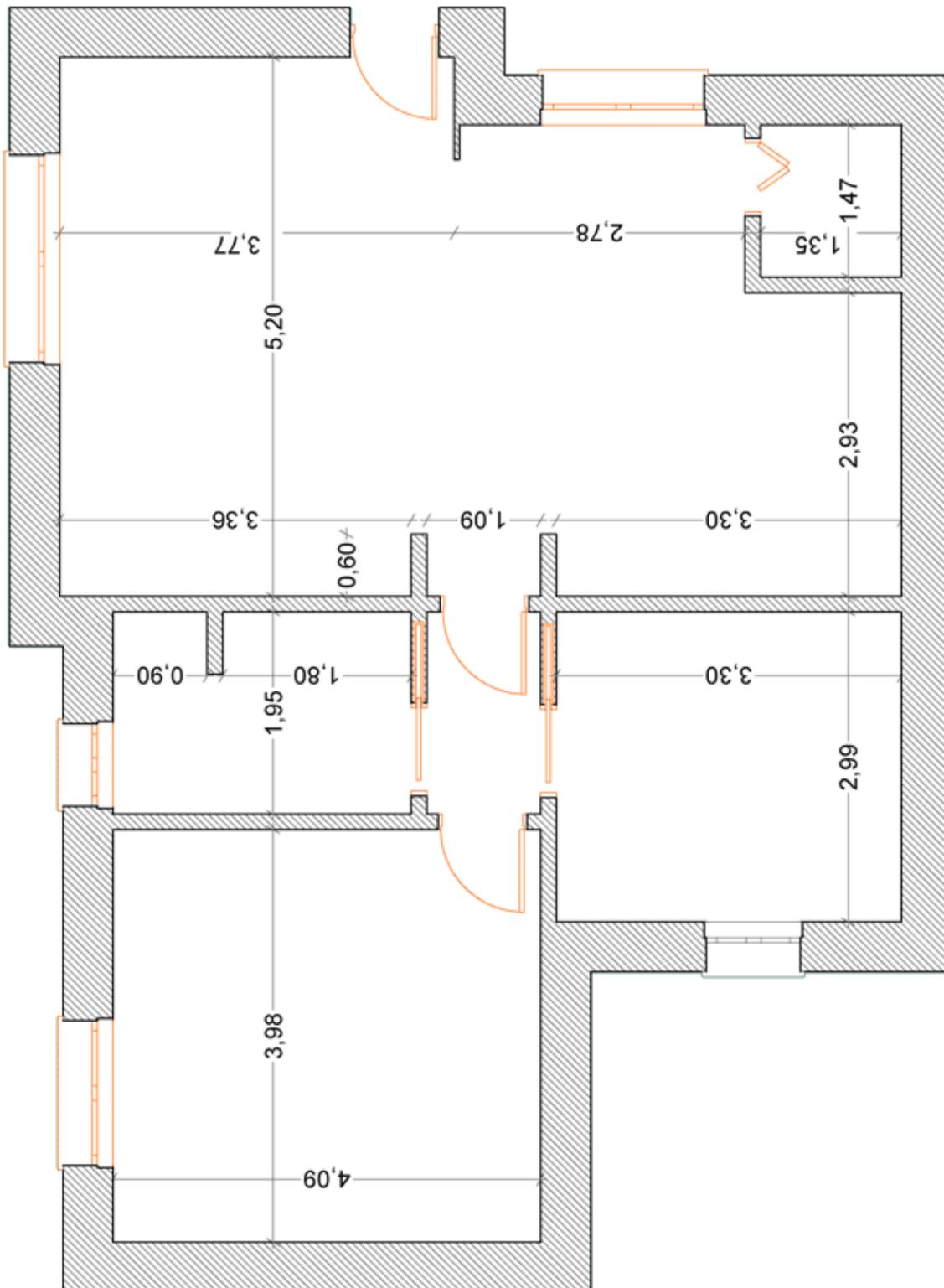


- A+B = Prevalenza disponibile all'impianto con by-pass chiuso
- B = Prevalenza disponibile all'impianto con by-pass aperto
- C+D = Potenza assorbita dal circolatore con by-pass aperto (area tratteggiata)
- D = Potenza assorbita dal circolatore con by-pass chiuso (area tratteggiata)

Il punto di funzionamento P dell'impianto individuato da portata - perdite di carico è all'interno del campo di funzionamento della pompa che è quindi in grado di vincere le perdite di carico e movimentare l'acqua.

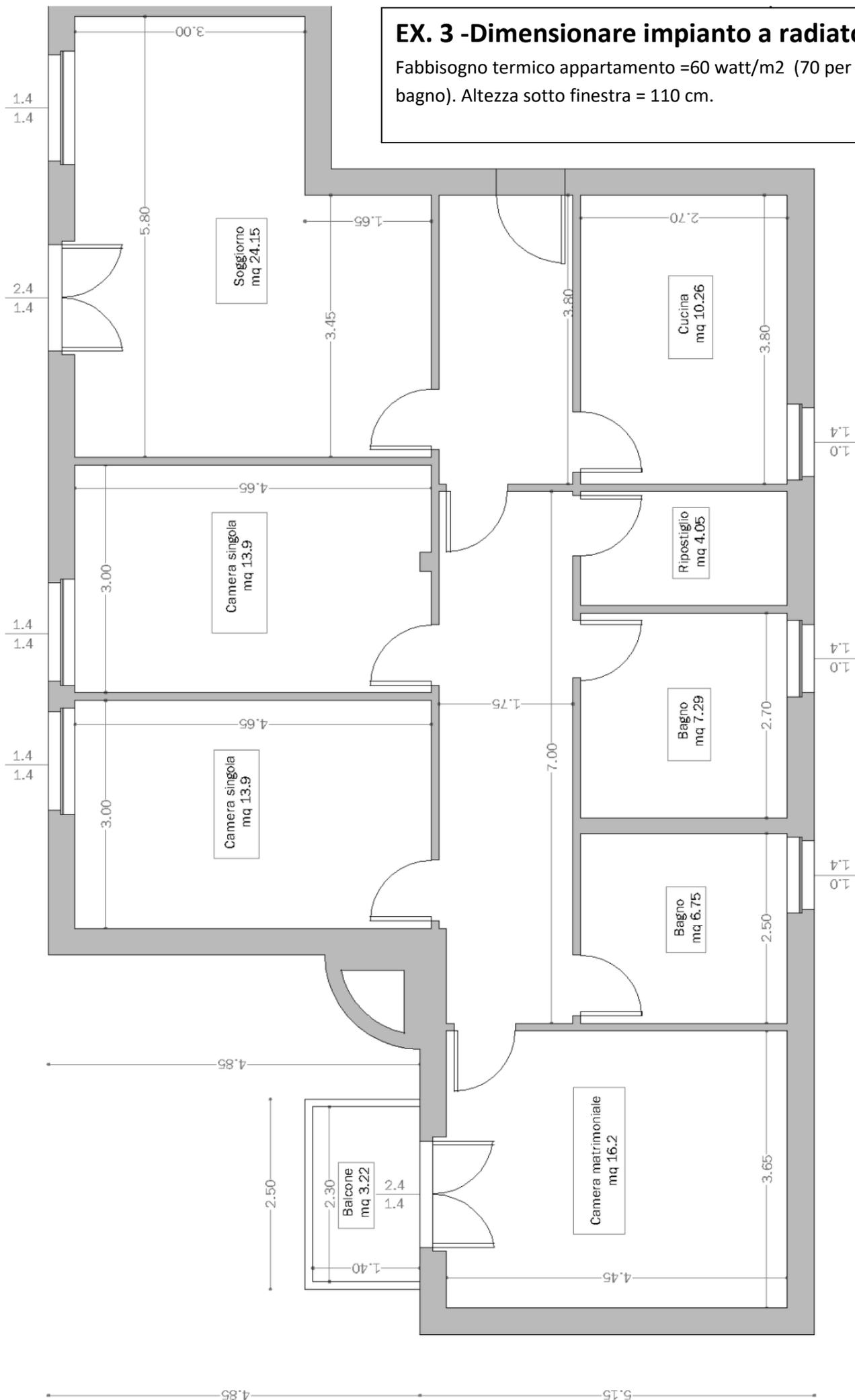
EX. 2 - Dimensionare impianto a radiatori per l'appartamento

Fabbisogno termico appartamento = 50 watt/m² (60 per il bagno). Altezza sotto finestra = 100 cm.



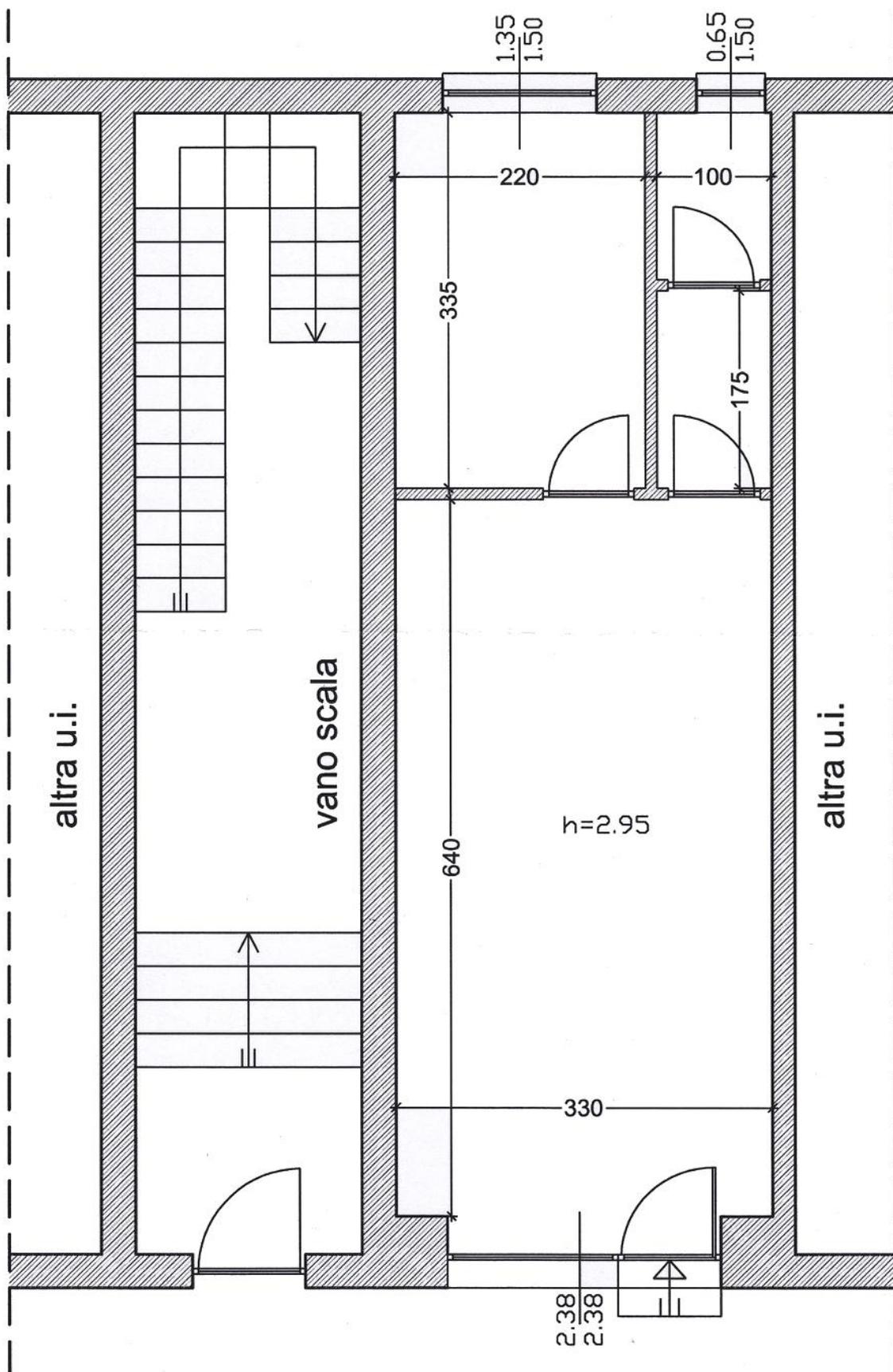
EX. 3 -Dimensionare impianto a radiatori

Fabbisogno termico appartamento =60 watt/m² (70 per il bagno). Altezza sotto finestra = 110 cm.



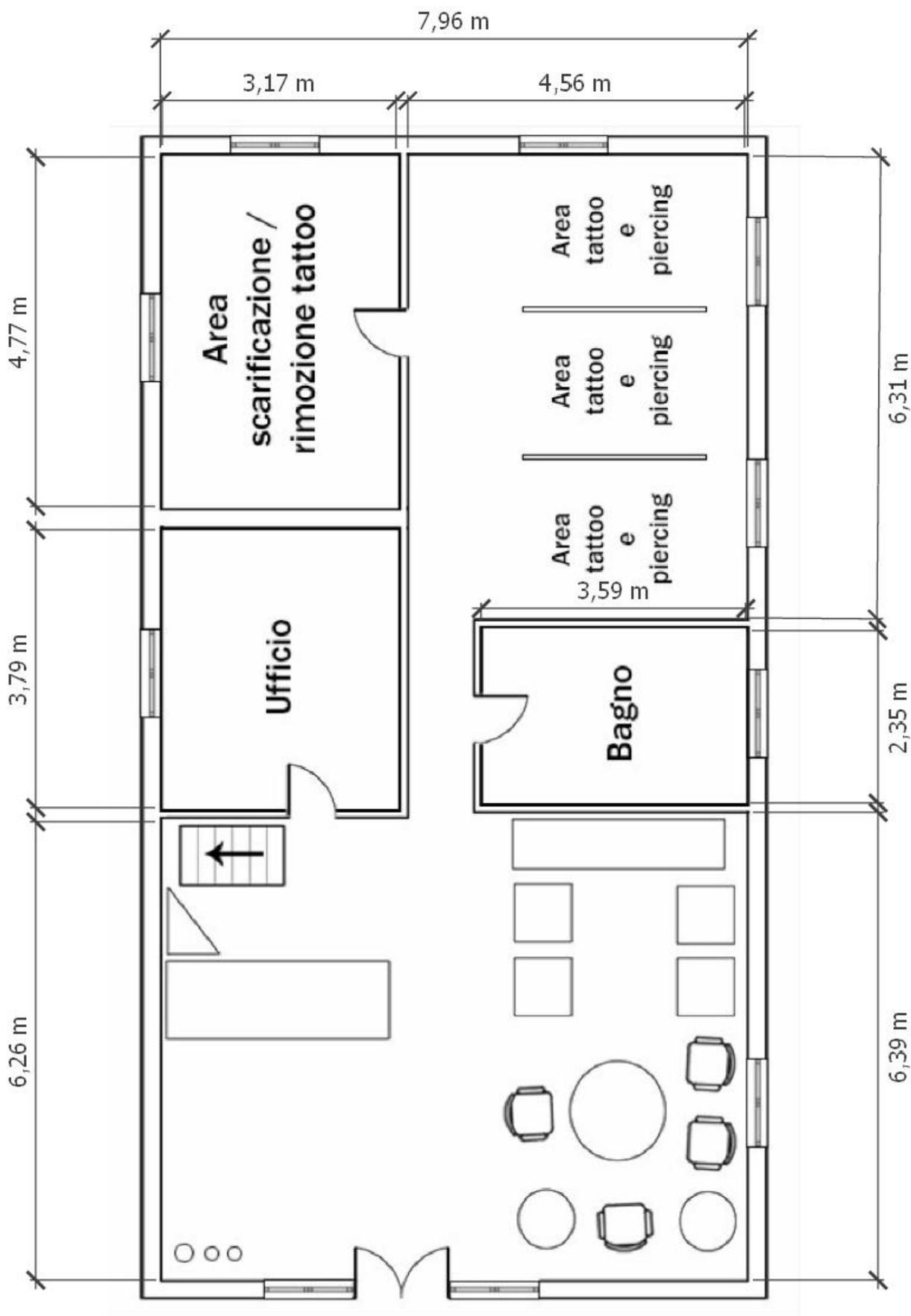
EX. 4 -Dimensionare i radiatori per il negozio

Fabbisogno termico appartamento =140 watt/m² (150 per il bagno). Altezza sotto finestra = 110 cm.



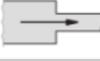
EX. 5 - Dimensionare i radiatori per il negozio

Fabbisogno termico appartamento = 140 watt/m² (150 per il bagno). Altezza sotto finestra = 110 cm.



Perdite di carico negli impianti

Perdite di carico localizzate curve e diramazioni

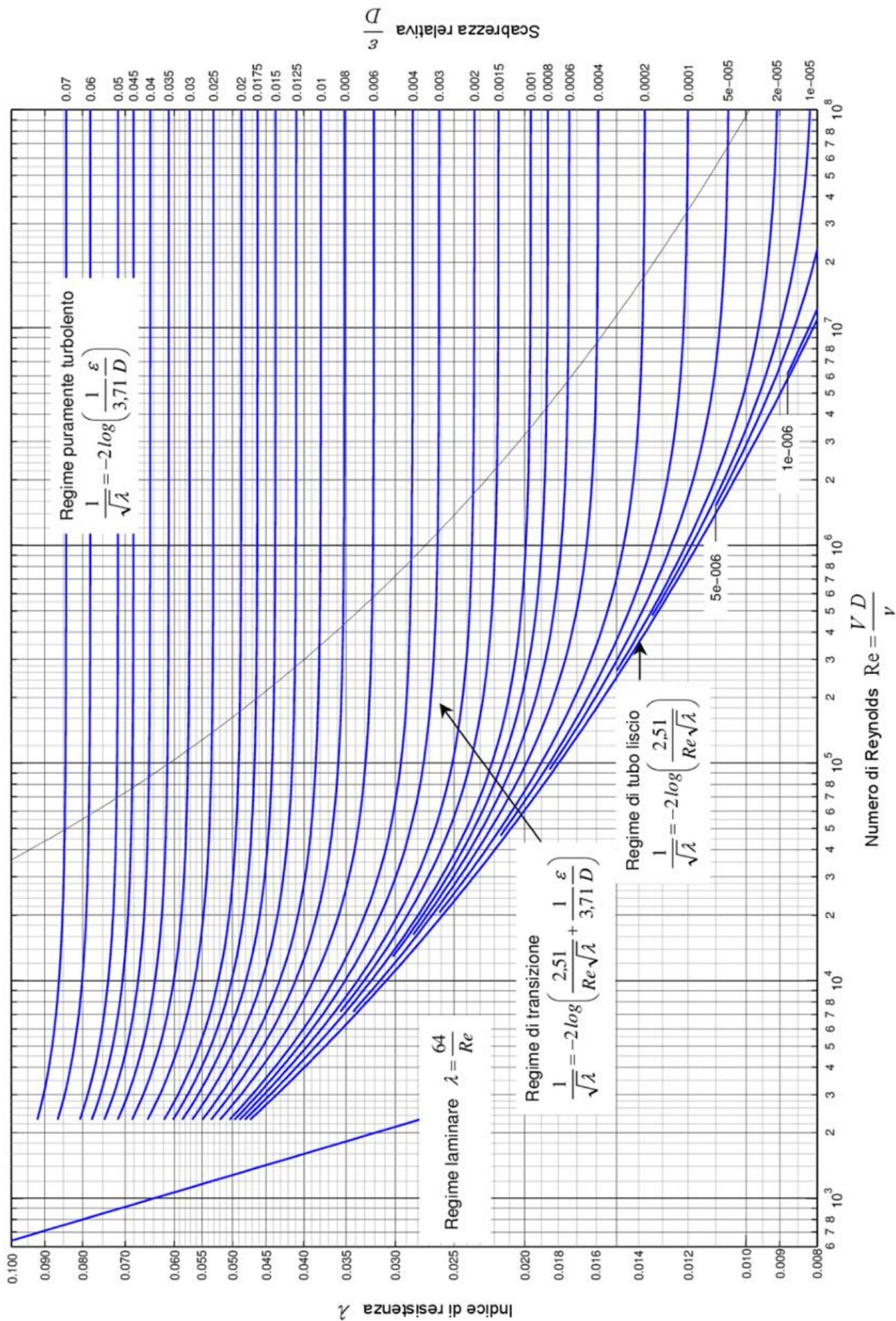
<i>Diametro interno tubi in acciaio inox, rame e materiale plastico</i>		8 ÷ 16 mm	18 ÷ 28 mm	30 ÷ 54 mm	> 54 mm
<i>Diametro tubi in acciaio</i>		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"
<i>Tipo di resistenza localizzata</i>	<i>Simbolo</i>				
Curva stretta a 90° <i>r/d = 1,5</i>		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normale a 90° <i>r/d = 2,5</i>		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90° <i>r/d > 3,5</i>		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva stretta a U <i>r/d = 1,5</i>		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normale a U <i>r/d = 2,5</i>		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga a U <i>r/d > 3,5</i>		1,5	0,8	0,4	0,4
Allargamento		1,0			
Restringimento		0,5			
Diramazione semplice con T a squadra		1,0			
Confluenza semplice con T a squadra		1,0			
Diramazione doppia con T a squadra		3,0			
Confluenza doppia con T a squadra		3,0			
Diramazione semplice con angolo inclinato (45° - 60°)		0,5			
Confluenza semplice con angolo inclinato (45° - 60°)		0,5			
Diramazione con curve d'invito		2,0			
Confluenza con curve d'invito		2,0			

Perdite di carico localizzate in valvole e componenti

Tipo di resistenza localizzata	Simbolo	Diametro interno tubi in acciaio inox, rame e materiale plastico			
		8 ÷ 16 mm	18 ÷ 28 mm	30 ÷ 54 mm	> 54 mm
		Diametro esterno tubi in acciaio			
		3/8" ÷ 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"
Valvola di intercettazione diritta		10,0	8,0	7,0	6,0
Valvola di intercettazione inclinata		5,0	4,0	3,0	3,0
Saracinesca a passaggio ridotto		1,2	1,0	0,8	0,6
Saracinesca a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a sfera a passaggio ridotto		1,6	1,0	0,8	0,6
Valvola a sfera a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a farfalla		3,5	2,0	1,5	1,0
Valvola a ritegno		3,0	2,0	1,0	1,0
Valvola per corpo scaldante tipo diritto		8,5	7,0	6,0	—
Valvola per corpo scaldante tipo a squadra		4,0	4,0	3,0	—
Detentore diritto		1,5	1,5	1,0	—
Detentore a squadra		1,0	1,0	0,5	—
Valvola a quattro vie		6,0		4,0	
Valvola a tre vie		10,0		8,0	
Passaggio attraverso radiatore		3,0			
Passaggio attraverso caldaia a terra		3,0			

Perdite di carico distribuite

Abaco di Moody



Viscosità dei fluidi

Valori di viscosità in mm^2/s
o unità equivalenti : **cSt** (CentiStokes), **cP** (Centipoise).

Fluido:	0 °C	10 °C	20 °C	40 °C	50 °C	100 °C	200 °C
Mercurio	0,13	0,12	0,12		0,11		
Ammoniaca	0,31	0,29	0,27		0,2		
Benzina	0,8	0,7	0,6		0,45		
Acqua salata	2,5	1,8	1,2		0,8	0,45	0,15
Cherosene	4,2	2,8	2,4		1,3	0,9	
Olio lubrificante (SAE 30)	2000	600	280		55	12	2
Olio diatermico (ISO VG 32)					29	5,2	
Olio idraulico (HLP 32)			85	32	18	5,4	
Olio idraulico (HLP 46)			146	46	28	6,9	
Olio idraulico (HLP 68)				68	43	9	
Olio idraulico (HLP 100)				105		12	
Metano	12	14	15		18	22	35
Aria	12	2,1	2,3		2,6	3,5	5,5
Vapore saturo	1800	1000	510		110	21	2,5
Acqua	1,9	1,4	1,1		0,55	0,3	

Rugosità superficiale tubature

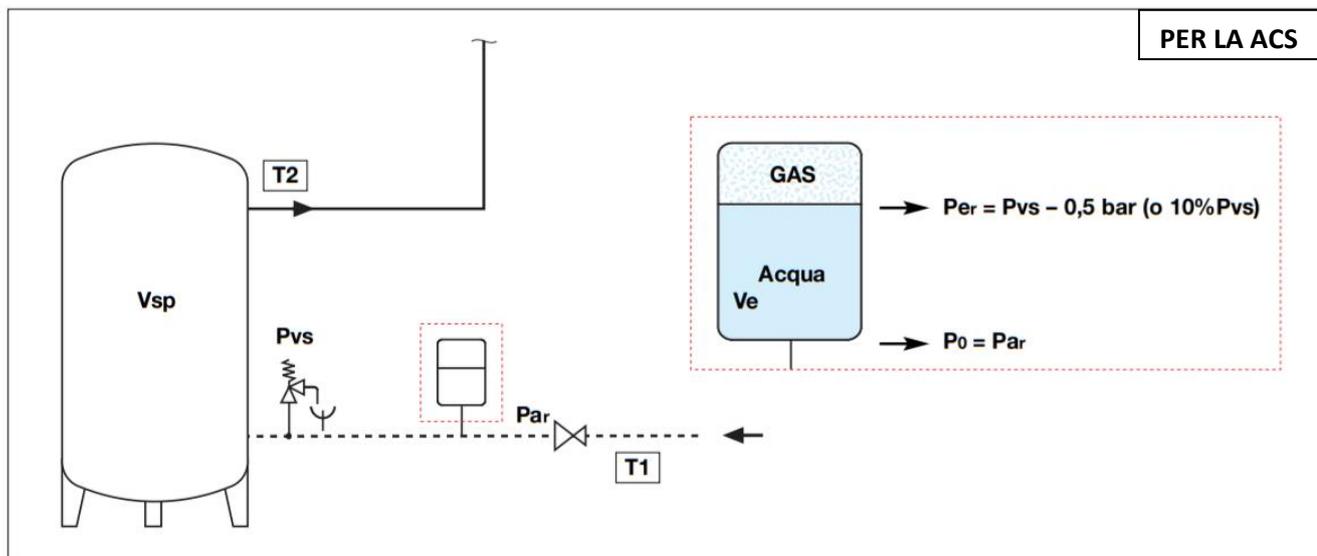
Valori di ϵ per alcuni materiali

Materiali	ϵ (mm)
Rame, ottone lucido, tubi plastica	0,0015
Acciaio nero	0,045
Acciaio zincato	0,150
Ghisa	0,250

Per il PEX si utilizza rugosità tipica di $7 \mu\text{m} = 0,0007 \text{ mm}$.

Dimensionamento vaso di espansione

I vasi d'espansione sono dei dispositivi necessari a compensare l'aumento di volume dell'acqua dovuto all'innalzamento della temperatura, sia negli impianti di riscaldamento che in quelli di produzione di acqua calda sanitaria ACS. Essi vengono utilizzati anche come autoclavi negli impianti di distribuzione idrosanitari.



Metodo di dimensionamento

T1 = temperatura acqua fredda di alimentazione
T2 = temperatura di accumulo dell'acqua calda
e = coefficiente di espansione dell'acqua, calcolato in base alla massima differenza tra la temperatura dell'acqua fredda di alimentazione e quella calda di accumulo

$$e = \frac{T_2}{100} - \frac{T_1}{100}$$

Definizione volumi

Vn = volume del vaso (l), da calcolare
Vsp = volume dell'acqua riscaldata (l) (nel bollitore)
Ve = volume di espansione dovuto al riscaldamento dell'acqua (l)

Definizione pressioni - le pressioni sotto riportate sono tutte pressioni misurate al manometro (pressioni relative):

Po = pressione di precarica vaso lato gas (bar)
Pvs = pressione taratura valvola sicurezza (bar)
Par = pressione iniziale (bar) lato acqua, relativa rappresentata dalla pressione massima di ingresso (valore di taratura del riduttore di pressione o dalla pressione massima di alimentazione della rete)

$$Par = Po$$

Per = pressione massima di esercizio dell'impianto (bar) lato gas (Pvs) diminuita di un valore di pressione che previene l'apertura della valvola di sicurezza.

$$Per = Pvs - 0,5 \text{ bar (10\% Pvs se Pvs > 5 bar)}$$

La capacità di un vaso d'espansione chiuso a membrana (diaframma) per impianti sanitari con accumulo viene calcolata applicando la seguente formula:

$$Vn = \frac{e \cdot Vsp}{1 - \frac{Pa}{Pe}} \quad (2)$$

Pressioni assolute

Pa = pressione assoluta iniziale lato gas (bar) pari alla pressione massima di ingresso Par + pressione atmosferica (1 bar). In pratica è la pressione di precarica a freddo del vaso aumentata di 1 bar.

$$Pa = Par + 1 = Po + 1$$

Tabella indicativa coefficiente "n" al variare della temperatura "T (°C)", relativo alla temperatura di 10°C, senza glicole

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
n	0	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,7	2,3	2,9	3,6

Esempio:

Dimensionare un vaso di espansione per un impianto idrosanitario avente le seguenti caratteristiche:

Vsp = volume dell'acqua riscaldata (bollitore) = **600 l**
T1 = temperatura acqua fredda di alimentazione = **10°C**
T2 = temperatura di accumulo dell'acqua calda = **80°C**
Par = pressione iniziale lato acqua = **3,5 bar**
Pvs = pressione di taratura della valvola di sicurezza = **6 bar**

Soluzione:

Dalla tabella dei coefficienti "n" ricaviamo:

per $T_1 = 10^\circ\text{C}$ -> $n_{T_1} = 0,1$ per $T_2 = 80^\circ\text{C}$ -> $n_{T_2} = 2,9$
 quindi "e" per $\Delta T = 70^\circ\text{C}$ è dato da:

$$e = \left(\frac{2,9}{100}\right) - \left(\frac{0,1}{100}\right) = 0,028$$

Po = pressione di precarica vaso lato gas = **Par = 3,5 bar**
Per = pressione massima di esercizio dell'impianto lato gas
 $= Pvs - 0,5 \text{ bar} = 6 - 0,5 = \mathbf{5,5 \text{ bar}}$

Pa = pressione assoluta iniziale lato gas = $Par + 1 = 3,5 + 1 = 4,5 \text{ bar}$

Pe = pressione assoluta finale lato gas = $Per + 1 = 5,5 + 1 = 6,5 \text{ bar}$

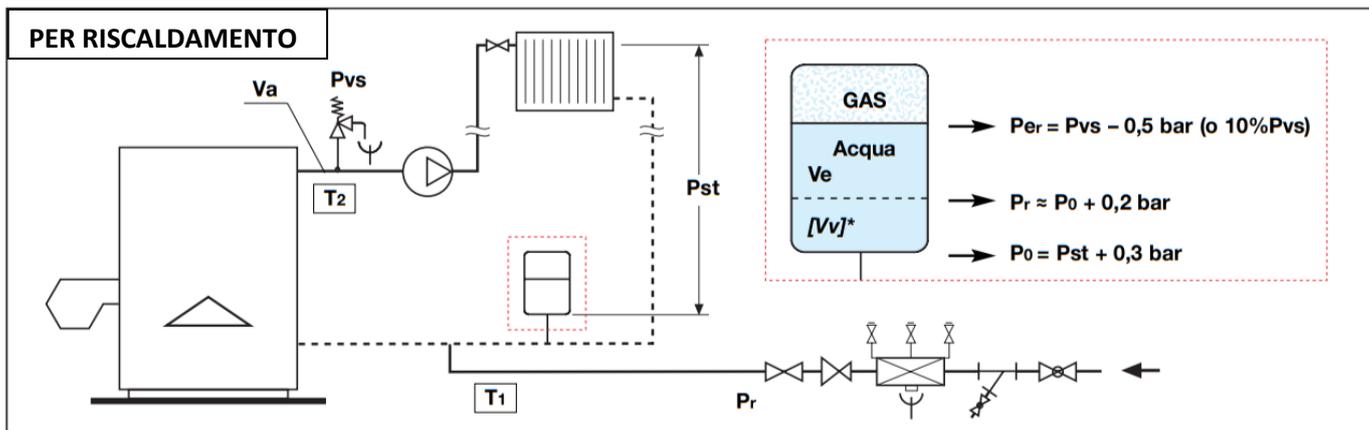
Si applica la formula (2) per il calcolo del volume del vaso **Vn**:

$$Vn = \frac{0,028 \cdot 600}{1 - \frac{4,5}{6,5}} = \mathbf{54,54 \text{ l}}$$

Verrà scelto quindi un vaso da 60 l (che dovrà essere precaricato a 3,5 bar)

Pe = pressione assoluta finale lato gas (bar) data dalla pressione massima relativa di esercizio dell'impianto Per + pressione atmosferica (1 bar).

$$Pe = Per + 1$$



Metodo di dimensionamento

e = coefficiente di espansione dell'acqua, calcolato in base alla massima differenza tra la temperatura dell'acqua ad impianto freddo (T1) e quella massima d'esercizio (T2)

$$e = n/100$$

tm = temperatura massima ammissibile in gradi Celsius riferita all'intervento dei dispositivi di sicurezza

$$n = 0,31 + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot tm^2$$

Per valori di temperatura pari a 110°C, n = 5,029

Definizione volumi

Vn = volume del vaso (l), da calcolare

Va = contenuto di acqua dell'impianto (l)

Ve = volume di espansione dovuto al riscaldamento dell'acqua (l)

Definizione pressioni - le pressioni sotto riportate sono tutte pressioni misurate al manometro (pressioni relative):

Pst = pressione idrostatica nel punto di installazione (bar)

Pvs = pressione di taratura della valvola di sicurezza (bar)

Po = pressione di precarica vaso lato gas (bar) uguale alla pressione idrostatica aumentata di un valore di pressione cautelativo per assicurare che non vi siano depressioni nell'impianto (bar)

$$Po = Pst + 0,3 \text{ bar}$$

NOTA:

Pr = pressione di riempimento impianto lato acqua (bar)

Per compensare eventuali perdite nel circuito è buona pratica fare in modo che un minimo volume **[Vv]*** di acqua sia già contenuto nel vaso nella fase iniziale. Per far sì che questo volume **[Vv]***, consigliato pari allo 0,5% di Va (con un minimo di 3 litri) entri nel vaso a freddo, occorre riempire l'impianto con Pr di riempimento pari a:

$$Pr \approx Po + 0,2 \text{ bar}$$

Pressione minima di caricamento raccomandata $Pr \geq 1 \text{ bar}$

Per = pressione massima di esercizio dell'impianto lato gas (bar) ovvero Pvs diminuita di un valore di pressione che previene l'apertura della valvola di sicurezza

$$Per = Pvs - 0,5 \text{ bar (10\% Pvs se Pvs > 5 bar)}$$

Tabella indicativa coefficiente "n" al variare della temperatura "T (°C)", relativo alla temperatura di 10°C, con e senza glicole "%"

°C	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
% glicole																
0			0	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,7	2,3	2,9	3,6	4,3	5,2	6,0	6,9
10			0,1	0,3	0,5	0,7	1,1	1,5	2,0	2,6	3,2	3,9	4,6	5,5	6,3	7,3
20			0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,3	2,9	3,5	4,2	4,9	5,8	6,7	7,6
30	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	2,1	2,6	3,1	3,8	4,4	5,2	6,0	6,9	7,8	
40	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,6	4,2	4,9	5,6	6,4	7,3	8,2
50	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,3	3,9	4,5	5,2	5,9	6,7	7,6	8,5

La capacità di un vaso d'espansione chiuso a membrana (diaframma) per impianti di riscaldamento viene calcolata applicando la seguente formula:

$$Vn = \frac{e \cdot Va [+ Vv]^*}{1 - \frac{Pa}{Pe}} \quad (1)$$

Pressioni assolute

Pa = pressione assoluta iniziale lato gas (bar) pari alla pressione **Po** più la pressione atmosferica (1 bar)

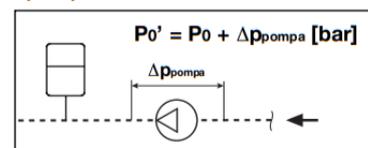
$$Pa = Po + [+ \Delta p]^{**} + 1$$

Pe = pressione assoluta finale lato gas (bar), data dalla **Per** più la pressione atmosferica (1 bar)

$$Pe = Per + 1 = Pvs - 0,5 \text{ bar [oppure -10\% Pvs]} + 1$$

****Montaggio del vaso dopo la pompa di circolazione**

Il montaggio del vaso a valle del circolatore prevede che il calcolo di Pa tenga in conto della prevalenza della pompa stessa **[Δppompa]****:



$$Pa' = Po + \Delta p_{pompa} \text{ [bar]} + 1 \text{ bar}$$

Tenendo conto che in quest'ultima formula la pressione di precarica (al manometro) lato gas è data da:

$$Po' = Po + \Delta p_{pompa} \text{ [bar]}$$

Esempio:

Dimensionare un vaso di espansione per un impianto di riscaldamento avente le seguenti caratteristiche:

Va = contenuto di acqua dell'impianto = 1000 l

Vv = 5 l (0,5% di Va)

tm = 110°C

n = 5,029

e = n/100 = 0,05029

Pst = pressione idrostatica nel punto di installazione = 2,3 bar

Pvs = pressione di taratura della valvola di sicurezza = 4 bar

Soluzione:

Po = pressione di precarica vaso lato gas = Pst + 0,3 bar = 2,3 + 0,3 = 2,6 bar

Per = pressione massima di esercizio dell'impianto lato gas = Pvs - 0,5 bar = 4 - 0,5 = 3,5 bar

Pa = pressione assoluta iniziale lato gas = Po + 1 = 2,6 + 1 = 3,6 bar

Pe = pressione assoluta finale lato gas = Per + 1 = 3,5 + 1 = 4,5 bar

Si applica la formula (1) per il calcolo del volume del vaso **Vn**:

$$Vn = \frac{0,05029 \cdot 1000 + 5}{1 - \frac{3,6}{4,5}} = 276,45 \text{ l}$$

Verrà scelto quindi un vaso da 300 l (che dovrà essere precaricato a 2,6 bar)