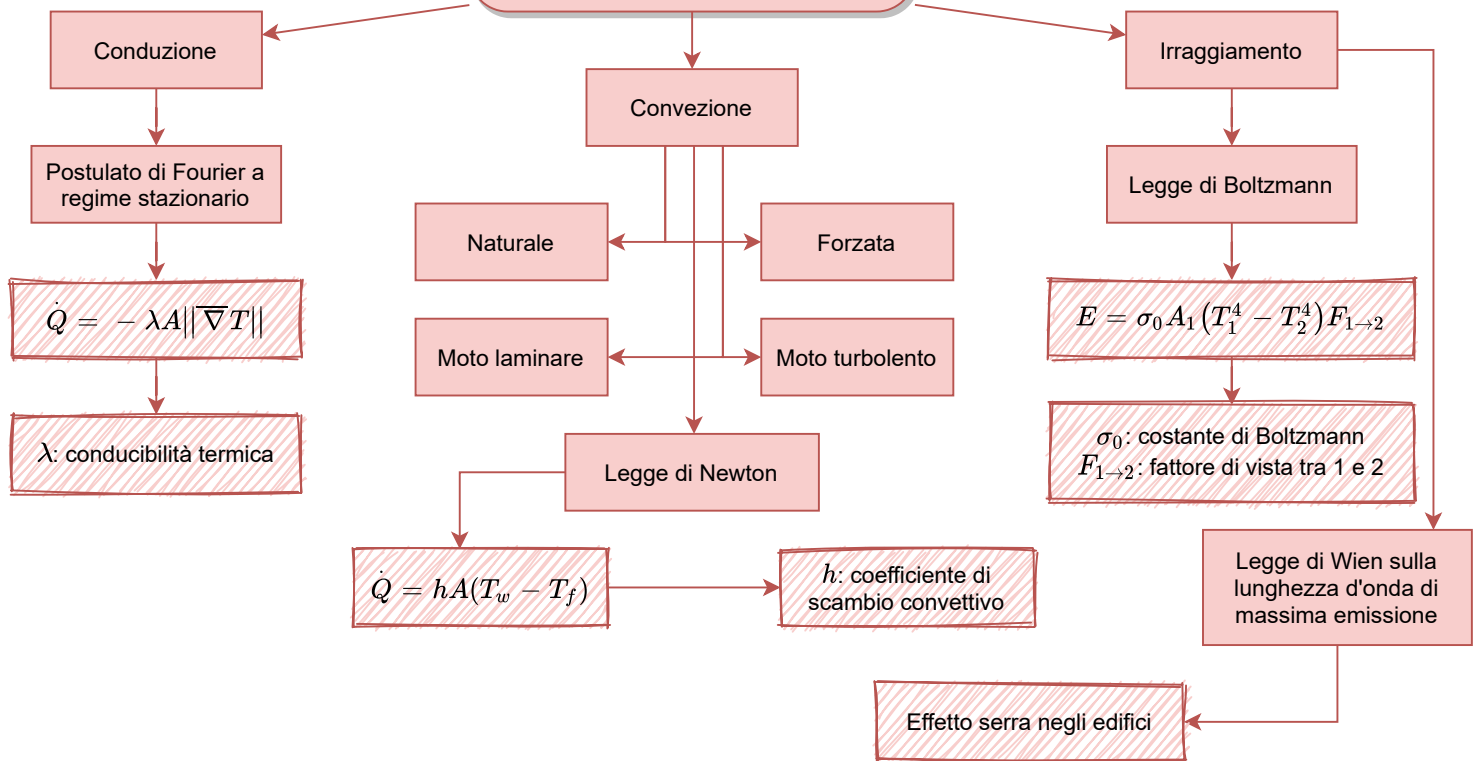
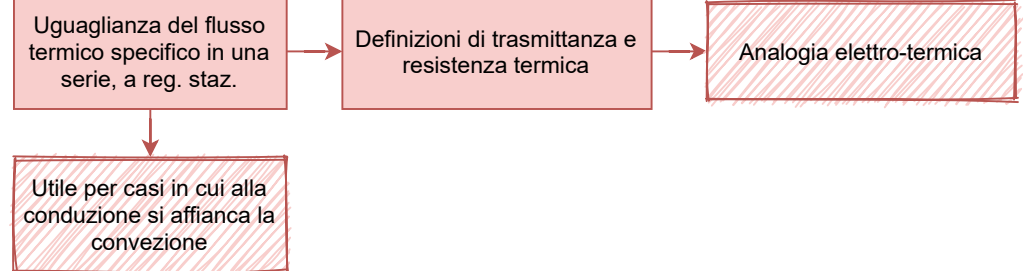


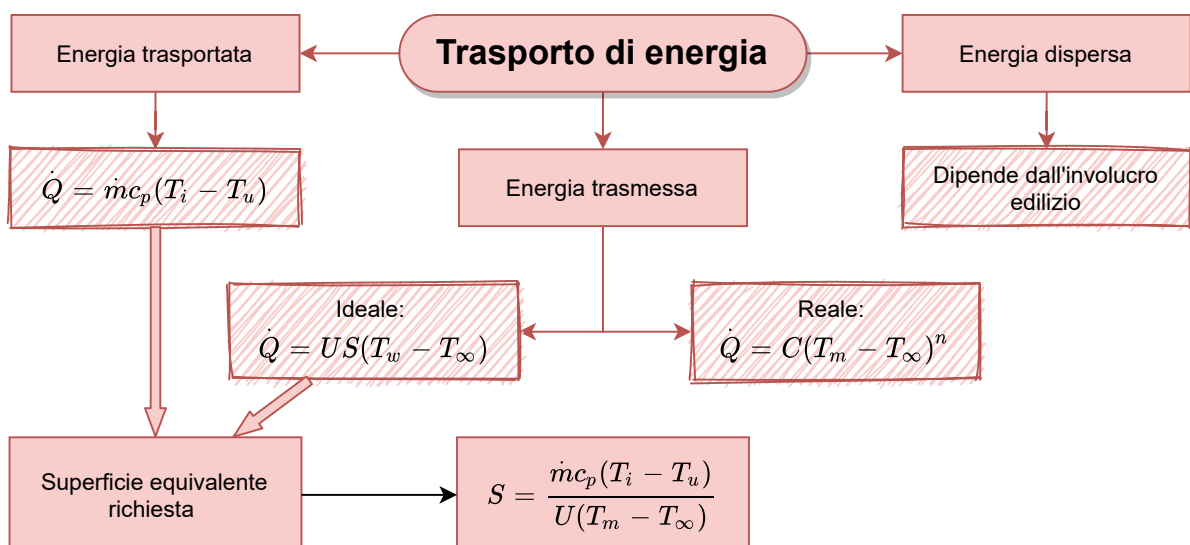
Trasmissione del calore

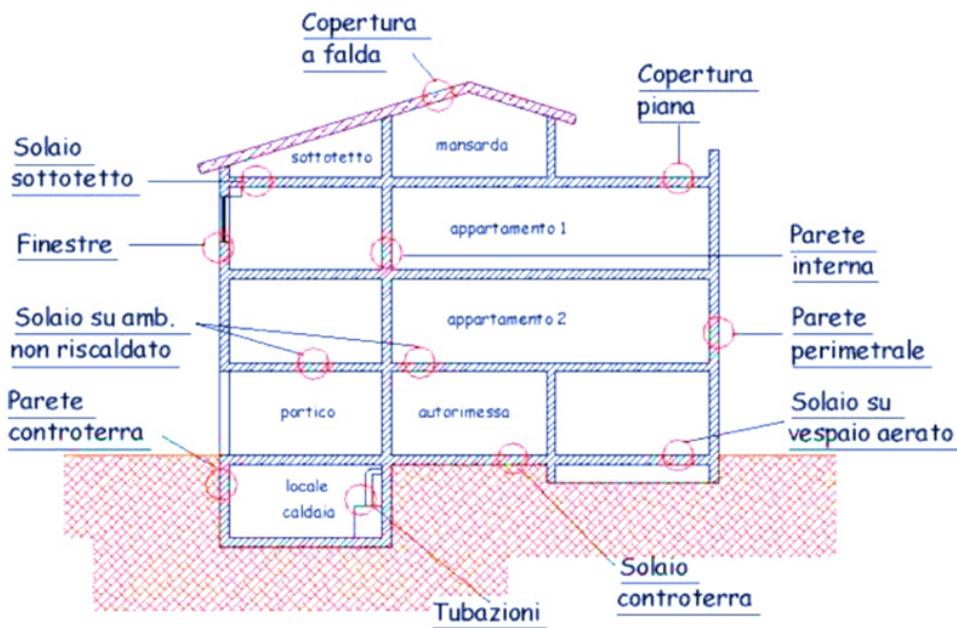


Trasmittanza e resistenza termica

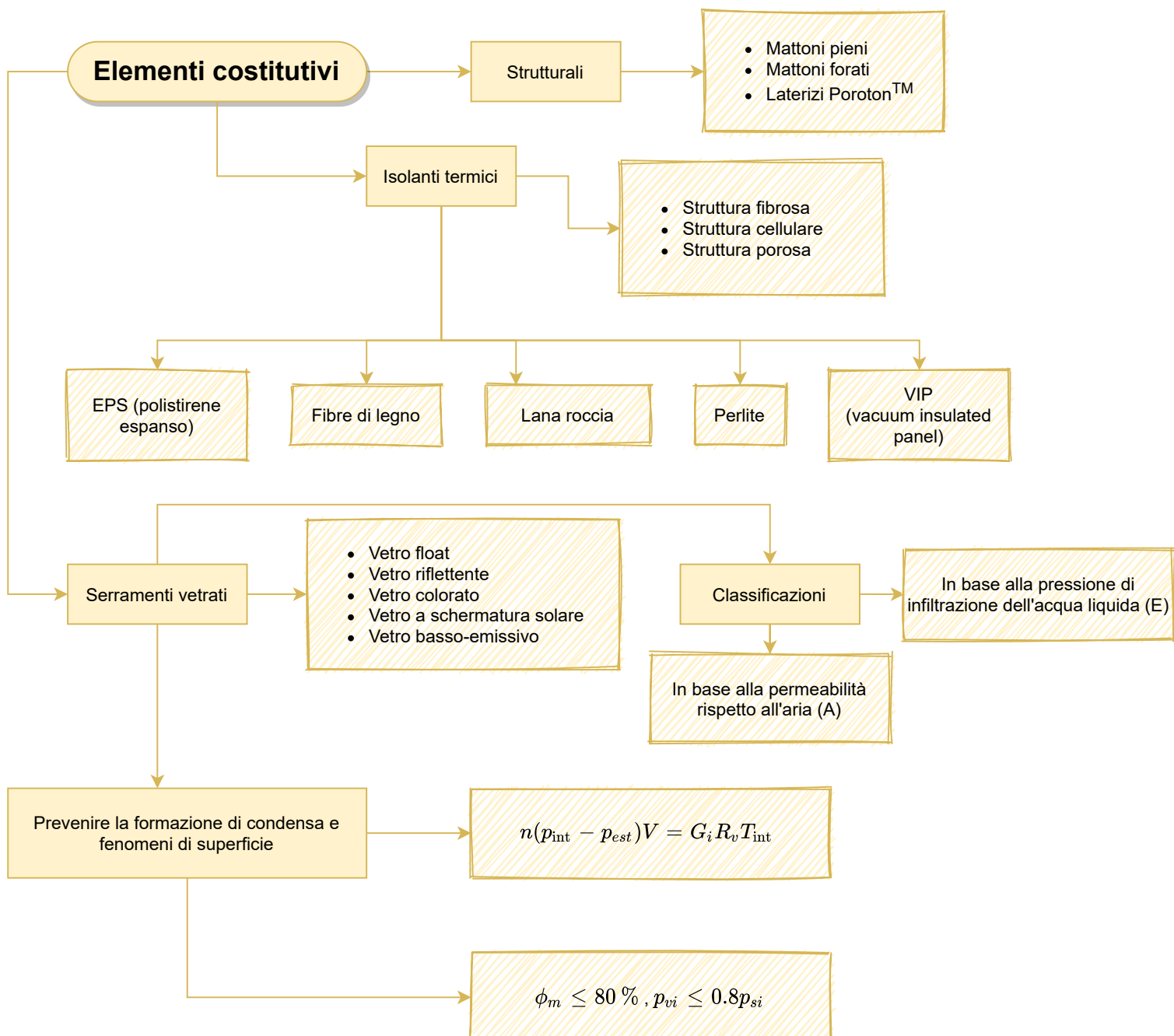


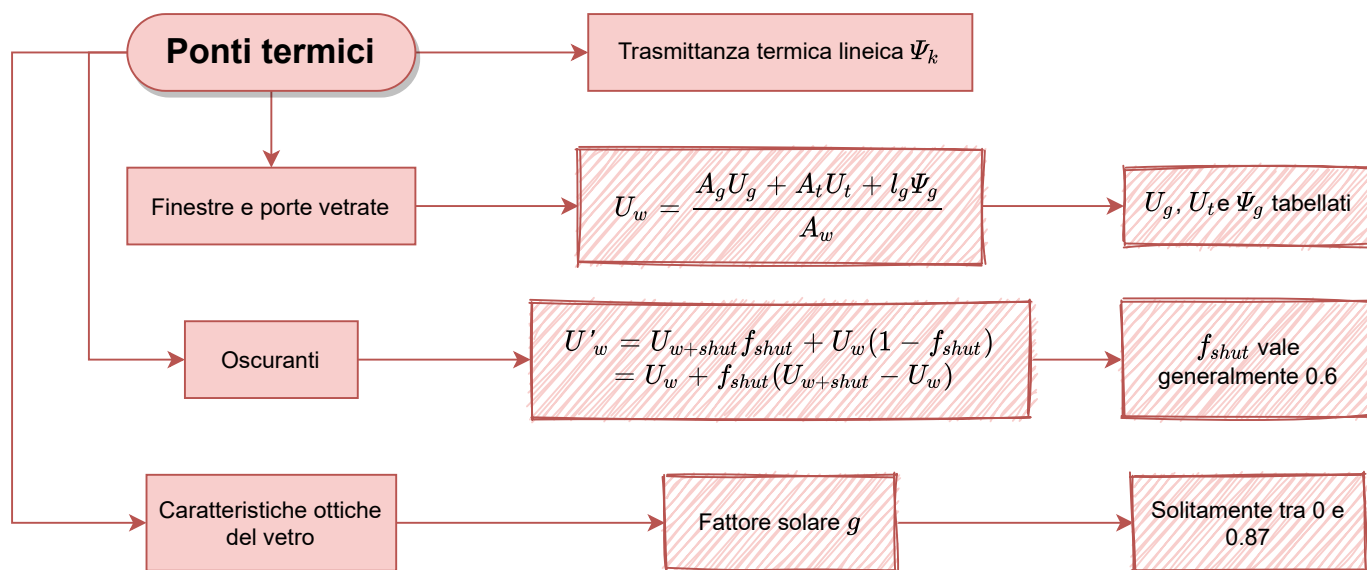
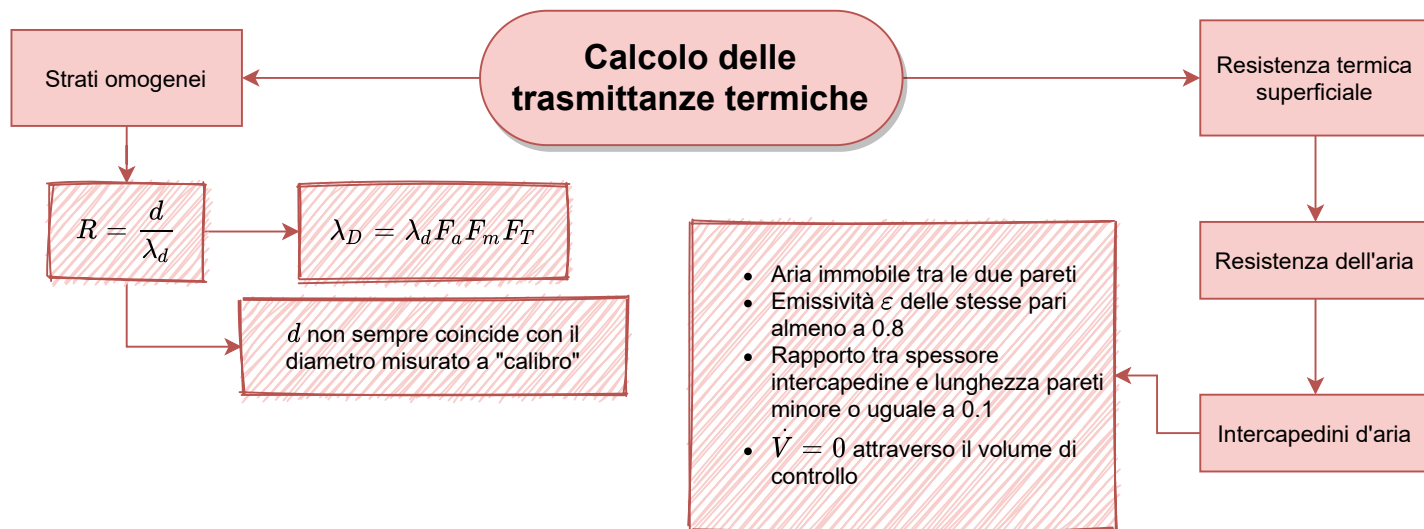
Trasporto di energia

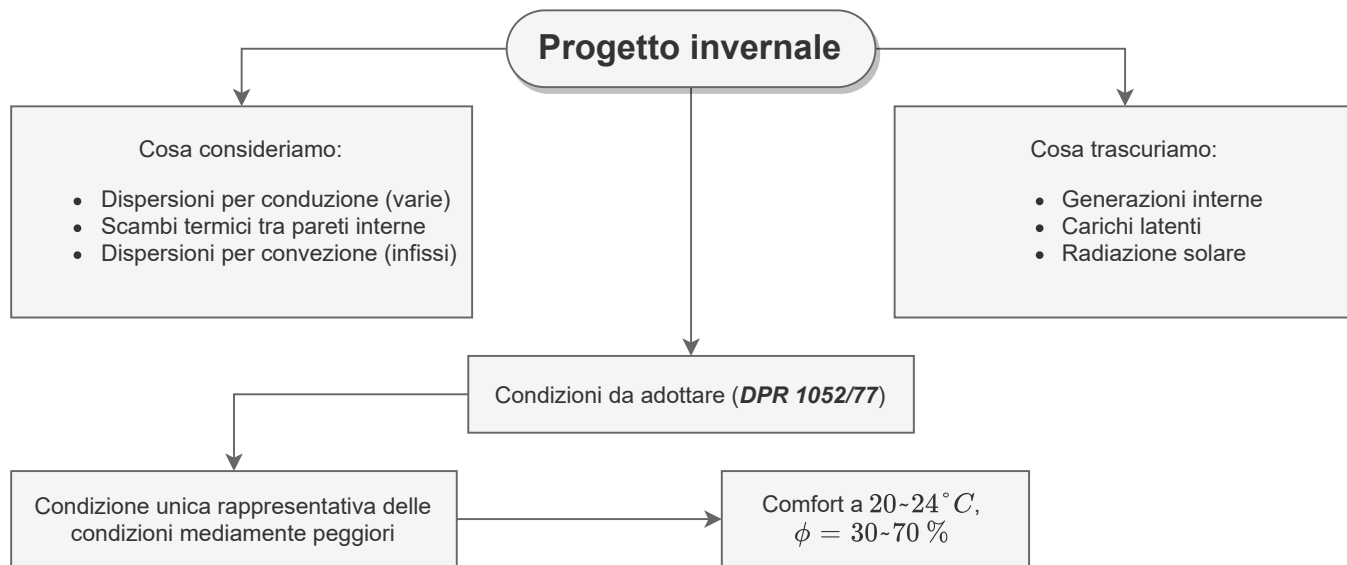




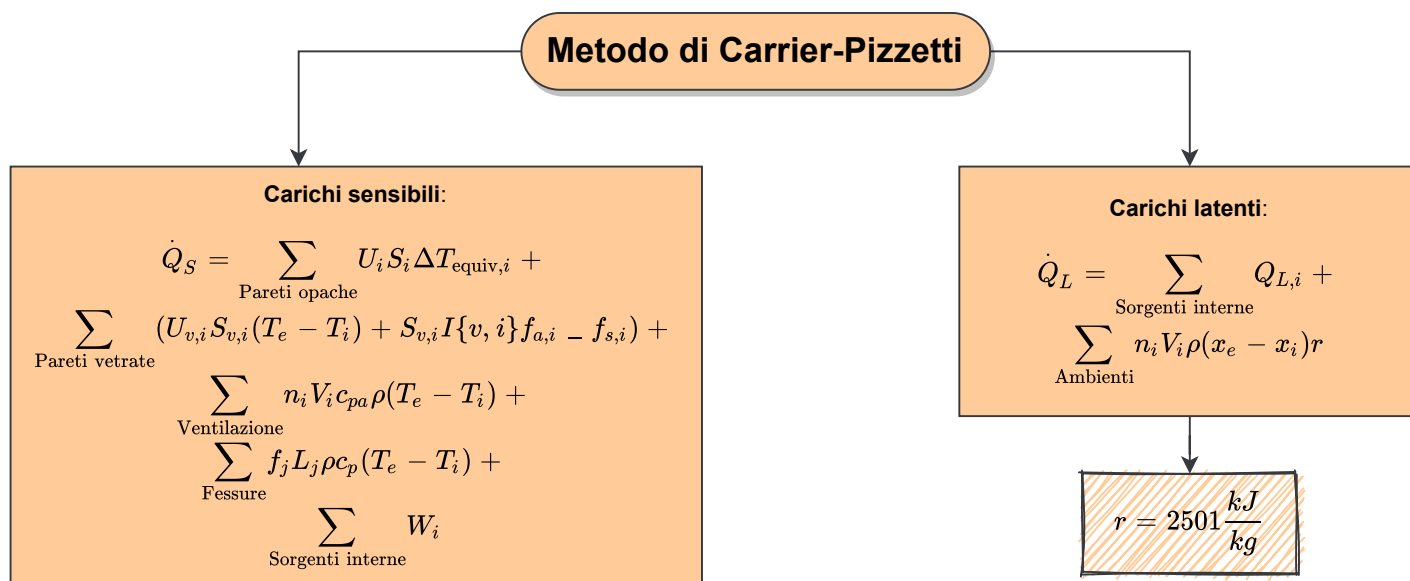
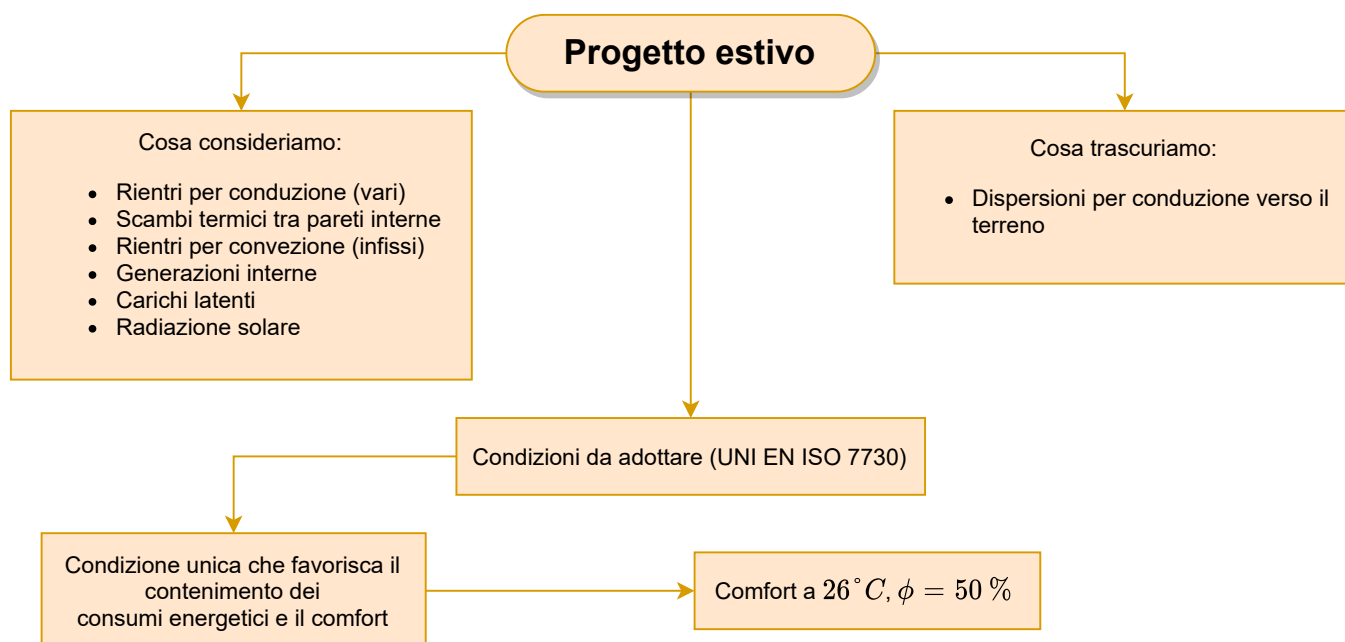
Involucro edilizio

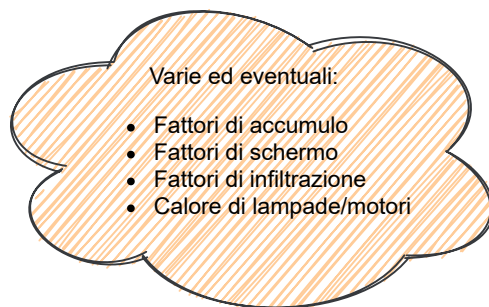
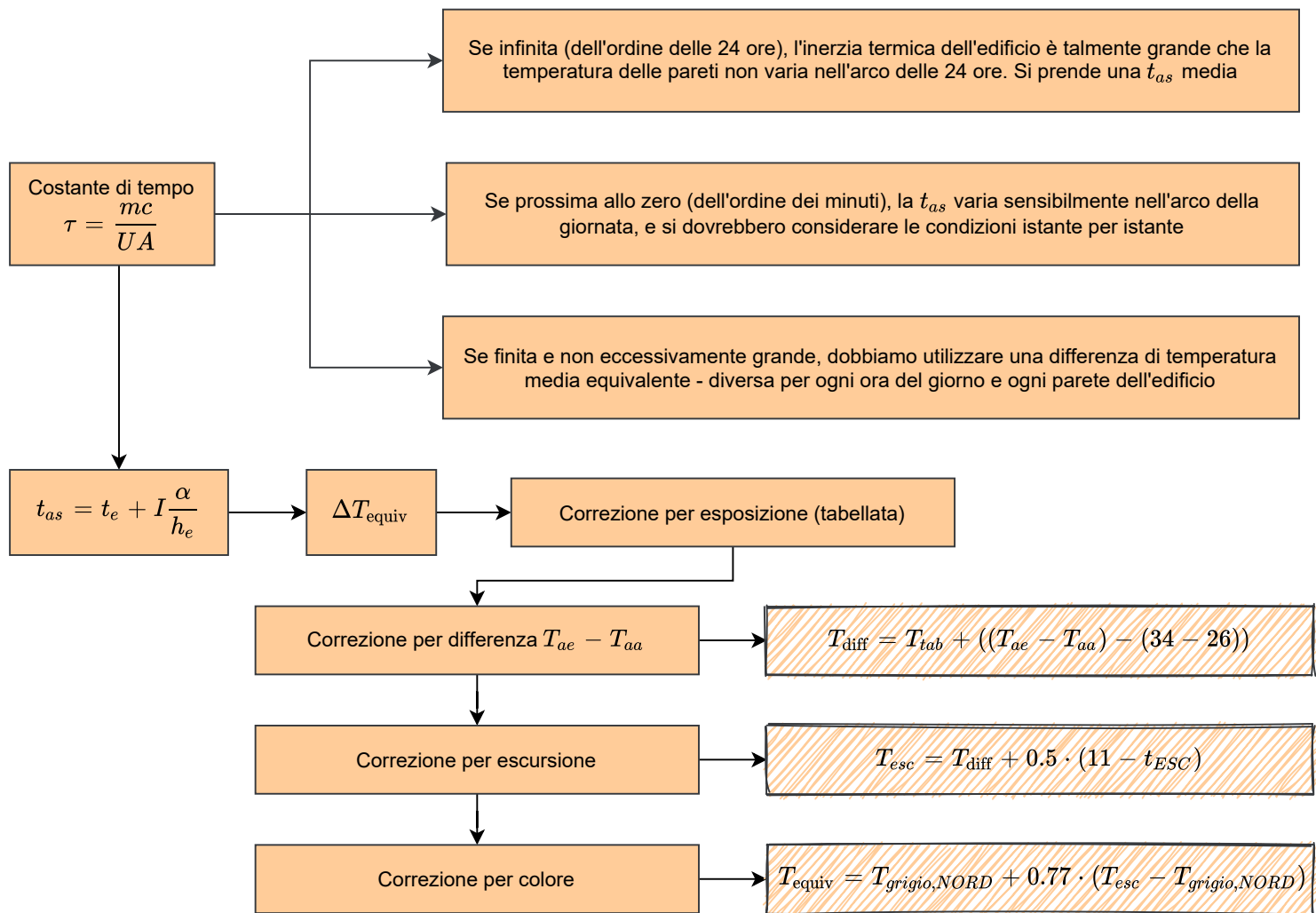






$$\dot{Q}_{usc} = \sum_{i=1}^n U_i S_i \Delta T_i + \sum_j \Psi_j l_j \Delta T_j + \sum_k n_k c_{pa} \rho V_k (t_{int,k} - t_{est})$$

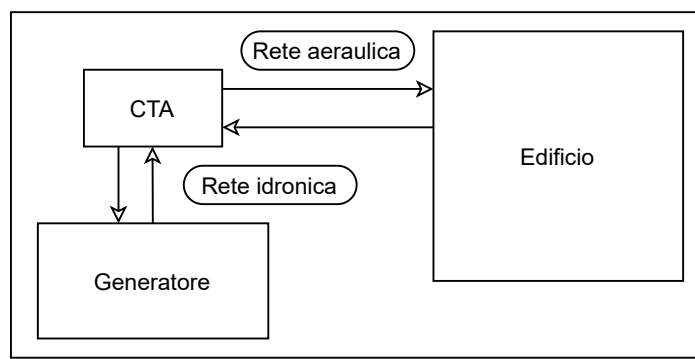




Impianti ad aria

Vantaggi:

- Buona possibilità di controllo delle condizioni ambientali
- Assenza di tubazioni, cavi elettrici e filtri negli spazi condizionati
- Possibilità di collocare i componenti principali in un'unica C.T.A.



Impianto a tutt'aria

Svantaggi:

- Scarsa efficienza energetica
- Notevole ingombro dei canali d'aria
- Necessità di accurato bilanciamento della rete di distribuzione
- Rischi in caso di epidemia legati al ricircolo dell'aria

Monocondotto: un solo condotto trasporta l'aria di mandata, uno solo la recupera. Semplice, ma fallace per vari motivi, tra cui l'incapacità di provvedere per ogni singolo locale individualmente.

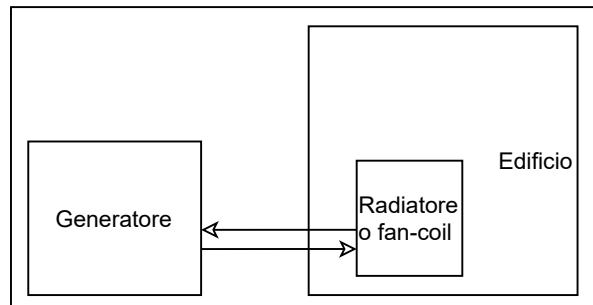
Monocondotto multizona: ogni locale è dotato di una propria batteria di post-riscaldamento, regolata da un termostato (o un umidostato, non entrambi), utile a fornire ad ogni locale la potenza di cui ha bisogno.

Doppio condotto: due condotti separati trasportano aria fredda e aria calda, opportunamente miscelate in prossimità dei locali da servire grazie a cassette terminali controllate da termostato.

Impianti ad acqua

Vantaggi:

- Generalmente economici
- Semplici da installare
- Elementari (basso contenuto tecnologico)
- Generalmente più efficienti degli impianti ad aria



Impianto ad acqua

Svantaggi:

- Grosso ingombro alla vista
- Necessità di accurato bilanciamento della rete di distribuzione
- Non controllano direttamente l'umidità ma possono solo perturbarla, agendo sulla temperatura

Impianti misti

Vantaggi:

- Più economici di quelli ad aria
- Buona possibilità di controllo delle condizioni ambientali
- Canali d'aria meno ingombranti

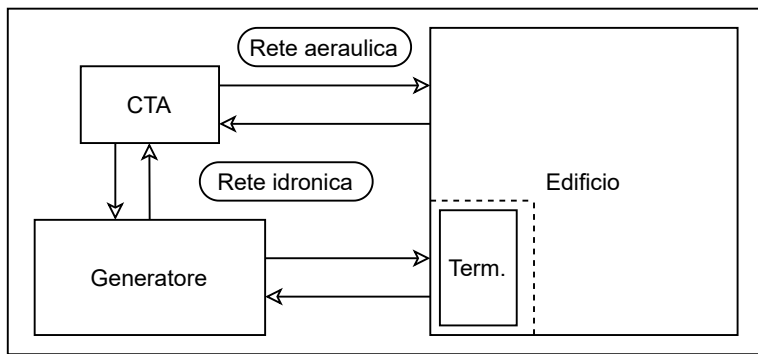
Svantaggi:

- Più costosi di quelli ad acqua
- Necessità di accurato bilanciamento della rete di distribuzione
- Soffrono generalmente di una scarsa efficienza energetica

Problema dei carichi latenti in regime estivo: affinché l'impianto agisca solo sui carichi sensibili, è necessario che la temperatura di alimentazione sia sì bassa, ma comunque non abbastanza da incontrare la curva di saturazione.

In altre parole:

$$T_{\text{alimentazione}} > T_{\text{rugiada}}$$

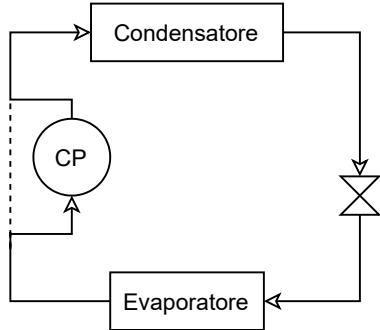


Impianto misto

Impianti a espansione diretta

Nota: d'inverno la temperatura di evaporazione deve essere più bassa di quella esterna, e ciò può mandare sotto sforzo il compressore fino anche allo stop.

Impianto a espansione diretta con valvola a 4 vie



Vantaggi:

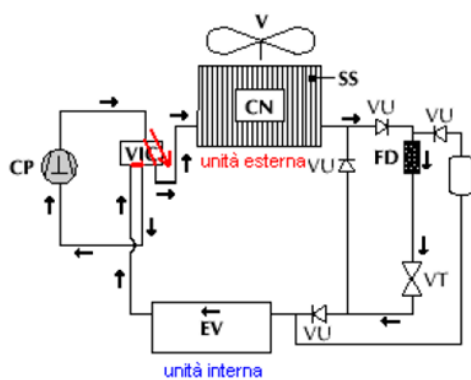
- Semplicità di gestione
- La possibilità di controllare l'umidità con componenti aggiuntivi
- Ridotti ingombri per la distribuzione
- Elevata efficienza energetica (specie i VRF, fino al 55% più efficienti)

Svantaggi:

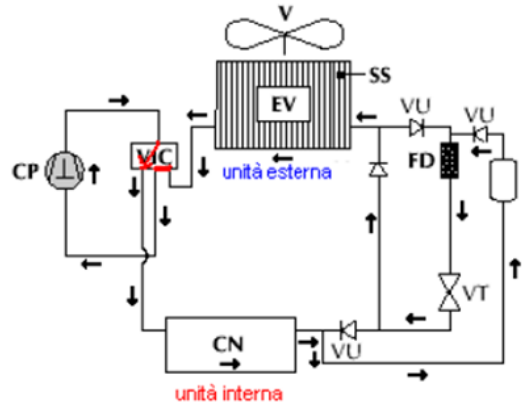
- Maggiori costi capitali
- Elevato contenuto tecnologico (maggiore complessità)
- Scarsa inerzia termica

Tecnologia VRF

Un motore DC è utilizzato per azionare il compressore; sappiamo che tali motori possono modulare la propria velocità con continuità, anziché limitarsi allo switch on-off, oppure passare tra velocità fisse.

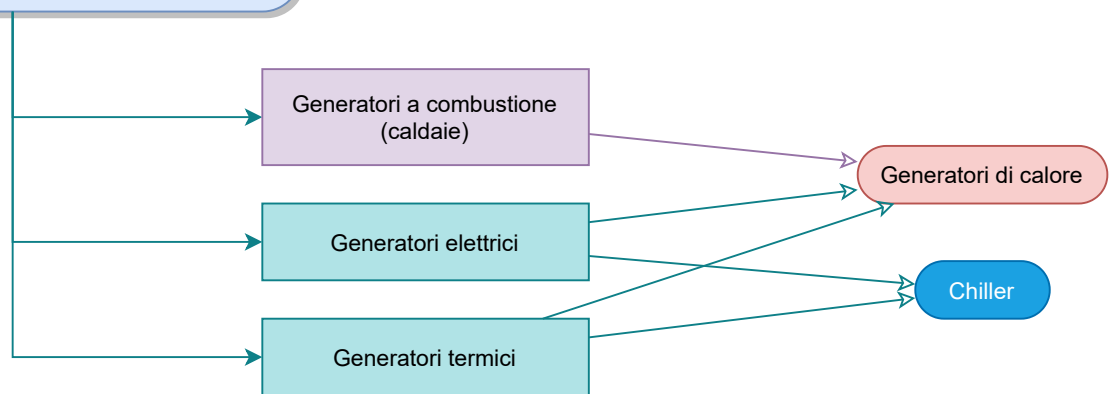


Funzionamento estivo

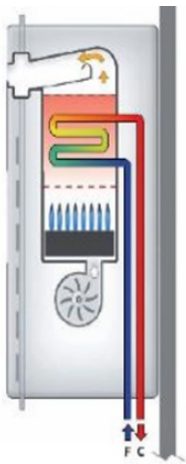


Funzionamento invernale

Sistemi di produzione idronici



Generatori a gas



$$\dot{E} + \dot{m}_c H + \dot{m}_c h_c + \dot{m}_a h_a = \dot{Q}_t + \dot{Q}_d + \dot{m}_f h_f + \dot{m}_{ss} f_{ss} + \dot{m}_l H_l$$

Dove:

- $\dot{m}_c H$ è la potenza al focolaio;
- $\dot{Q}_d = h A (T_{mantello} - T_{esterno})$ è la potenza dispersa al mantello;
- $\dot{m}_f h_f - (\dot{m}_c h_c + \dot{m}_a h_a)$ sono le perdite al camino;
- \dot{E} è l'energia elettrica degli ausiliari, completamente trascurabile.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{m}_c H}$$

Caldaie a condensazione

Recuperano energia termica dal fumo mentre passa nel camino

L'acqua di ritorno dovrà avere la temperatura più bassa possibile, e in generale non superiore ai 55°C

Questi hanno temperatura molto simile a quella dell'acqua di mandata, quindi non avrebbe senso scaldare l'acqua in uscita dalla caldaia: si riscalda invece quella in entrata, ben più fredda, per un salto termico maggiore

Generalmente, la temperatura del ritorno si aggira intorno ai 45°C, abbastanza bassa da far condensare i fumi di scarico ($T_R \approx 60^\circ\text{C}$)

!!! La condensa è tossica e corrosiva, non può accumularsi nella canna fumaria e non può essere smaltito nelle fognature. Sopra i 35 kW di caldaia, deve essere addirittura neutralizzata da appositi enti. !!!
(UNI 11071)

Per normativa europea, i nuovi sistemi a caldaia devono avere il camino a recupero. Non significa che questa opzione sia la più efficiente a priori...

Caldaie a modulazione di fiamma

- Monostadio: ON/OFF
- Bistadio: se acceso, modulazione al 50% o 100%
- Regime modulante: 50% - 100%, modulabile a stadi intermedi

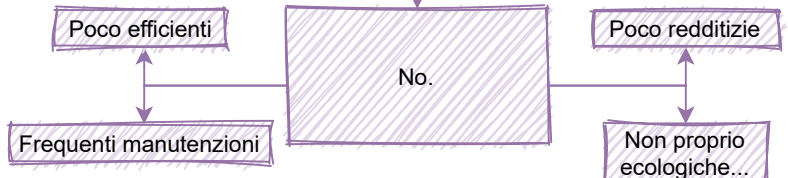
Caldaie a modulazione di fiamma

Questo tipo di caldaia è caratterizzato da una temperatura variabile del bruciatore, proporzionale alla temperatura di mandata, che è in funzione del carico dell'impianto e del carico climatico. La regolazione a temperatura scorrevole si ottiene adeguando la temperatura di caldaia in funzione del carico termico richiesto (legato a sua volta alla temperatura esterna).

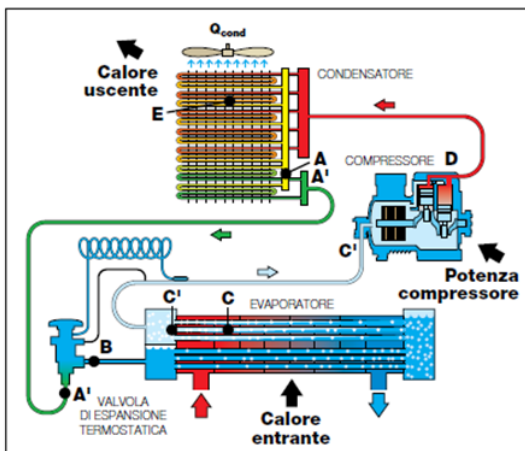
Caldaie a passaggi di fumo

Riducono le emissioni di NO_x, perché i fumi sono utilizzati per cedere parte del loro calore all'ambiente, un po' come nel caso delle caldaie a condensazione.

Caldaie a biomasse



Macchine a compressione di vapore



- In estate, di coefficiente di effetto utile frigorifero

$$EER = \frac{Q_{ev}}{L}$$

- In inverno, di coefficiente di effetto utile termico (o coefficiente di performance)

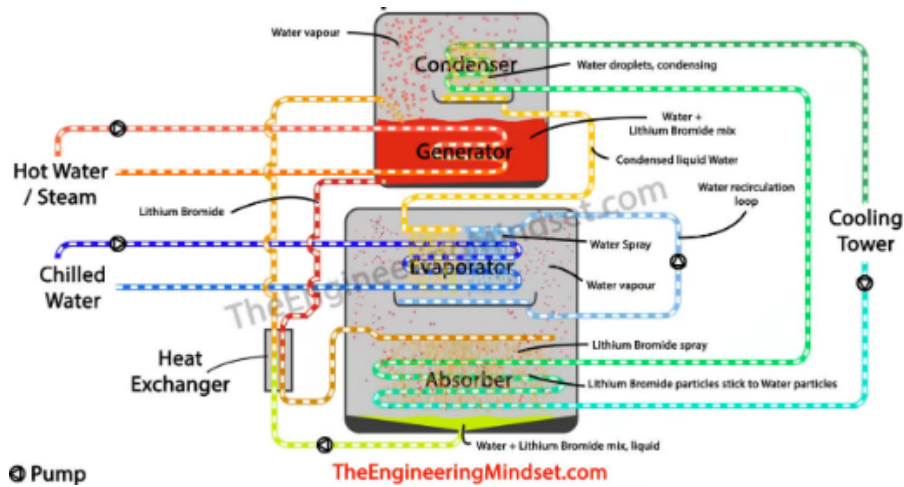
$$COP = \frac{Q_{cond}}{L}$$

I dieci comandamenti

1. Le M.C.V. adattano il loro funzionamento in base alle condizioni esterne
2. La potenza resa può variare anche grazie al regime di funzionamento del compressore
3. Le performance energetiche possono variare in base alle condizioni esterne
4. Il funzionamento di una pompa di calore è fortemente limitato a causa del brinamento sull'evaporatore
5. Una pompa di calore comporta l'obbligo di adottare terminali di emissione a basse temperature
6. Una M.C.V. può produrre acqua calda sanitaria con recupero di energia (energia gratuita) nei mesi estivi
7. Per innalzare la temperatura dell'ACS si può introdurre un desurriscaldatore
8. In inverno, una pompa di calore dovrà rendere per la potenza richiesta dagli ambienti, più quella richiesta per produrre ACS
9. La temperatura all'uscita del compressore deve essere bassa
10. Una M.C.V. può necessitare di accumulo inerziale

$$\frac{\Delta P}{n} = \frac{V \cdot \Delta T \cdot 60}{\Delta t_{\min} \cdot 860}$$

Assorbitori (refrigeratori ad assorbimento)



BILANCIO DI PRIMA LEGGE

$$\dot{Q}_{Gen} + \dot{Q}_{evap} + \dot{L}_P = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{Ass}$$

Possiamo trascurare la potenza meccanica da fornire alla pompa.

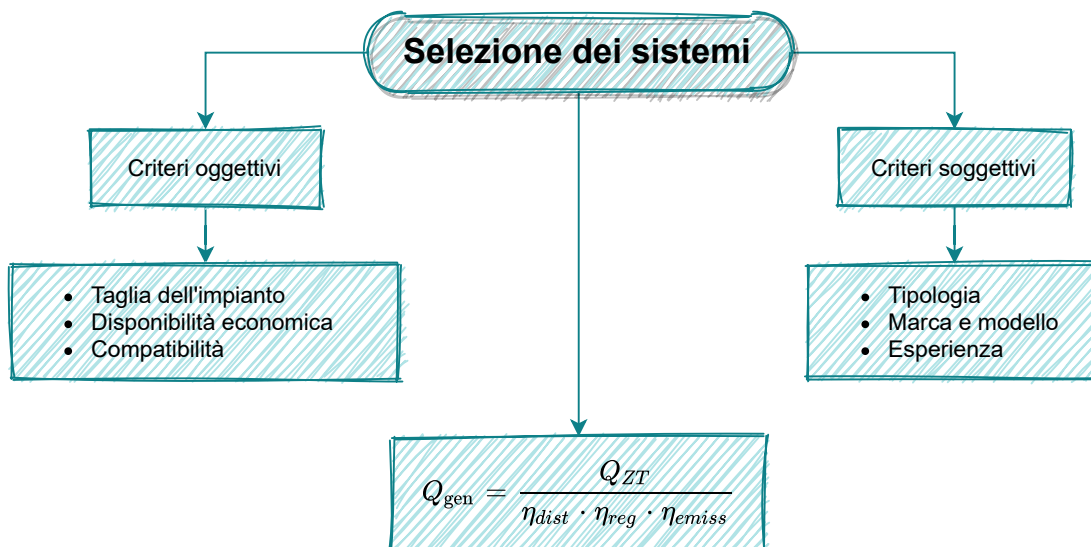
$$\dot{Q}_G + \dot{Q}_{ev} = \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_A$$

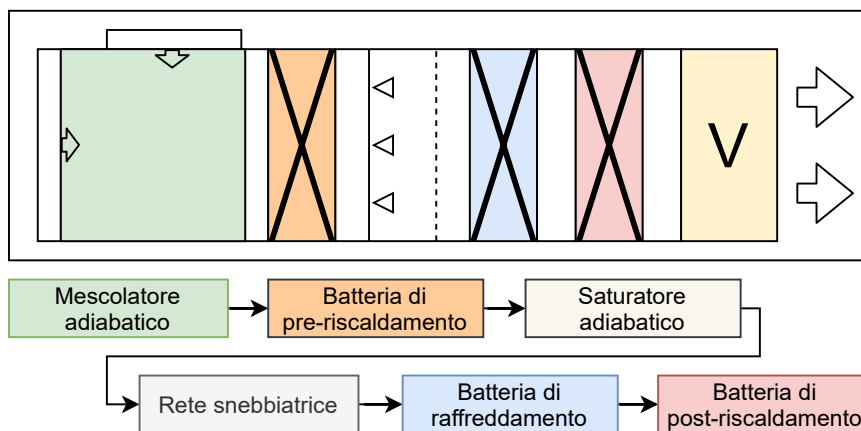
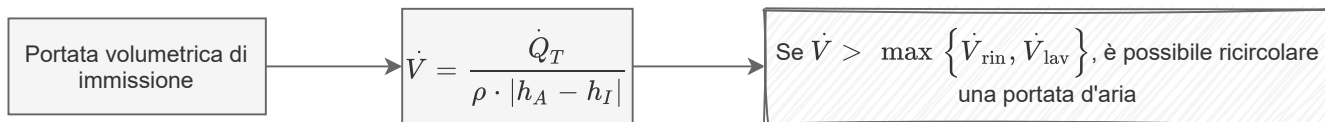
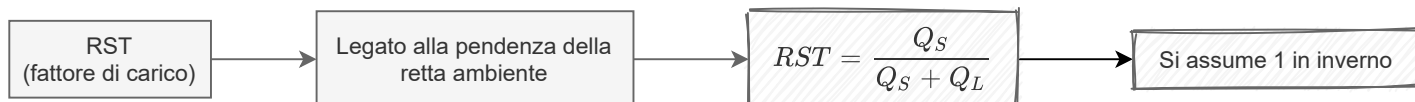
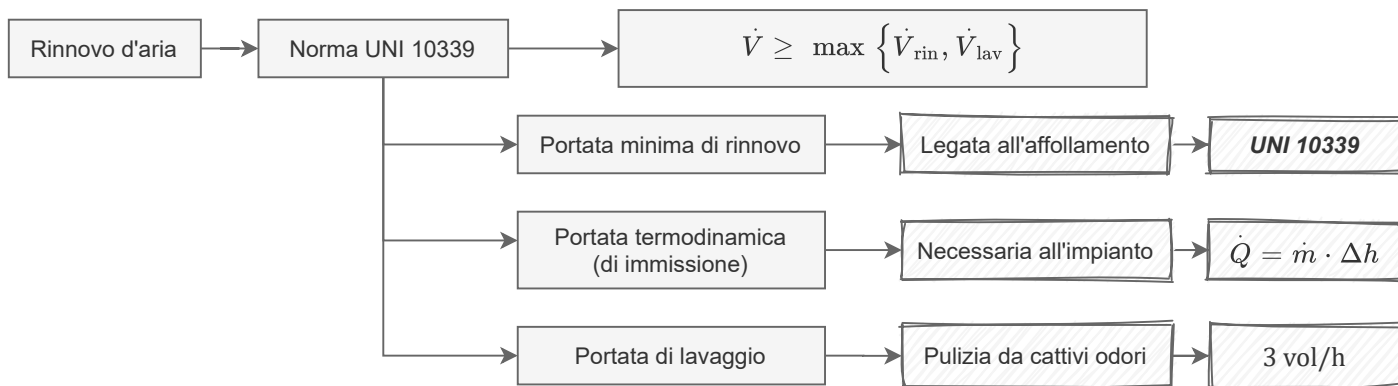
BILANCIO DI SECONDA LEGGE

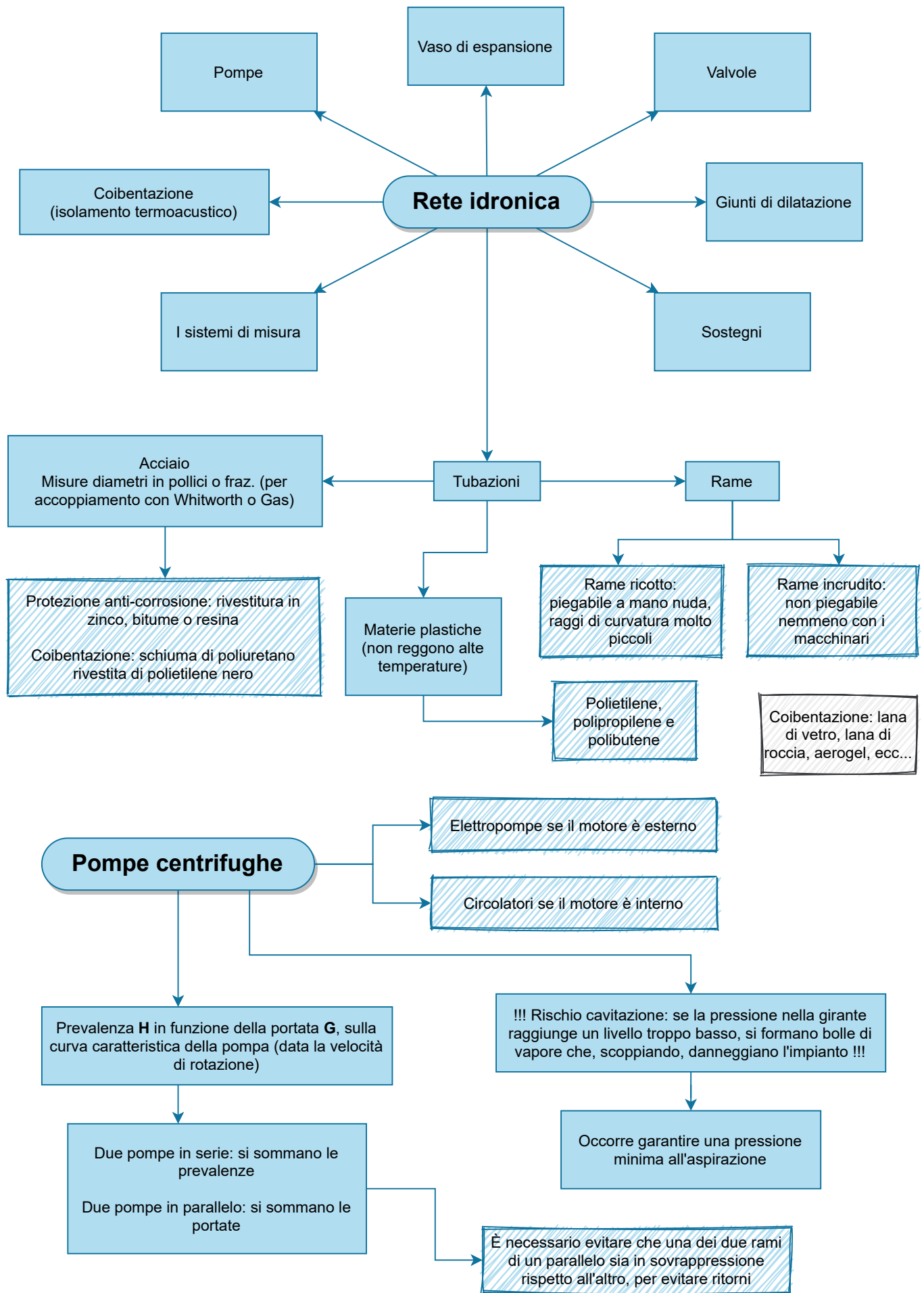
$$\frac{\dot{Q}_G}{T_H} + \frac{\dot{Q}_{ev}}{T_L} + \dot{S}_{gen} = \frac{\dot{Q}_{co}}{T_M}$$

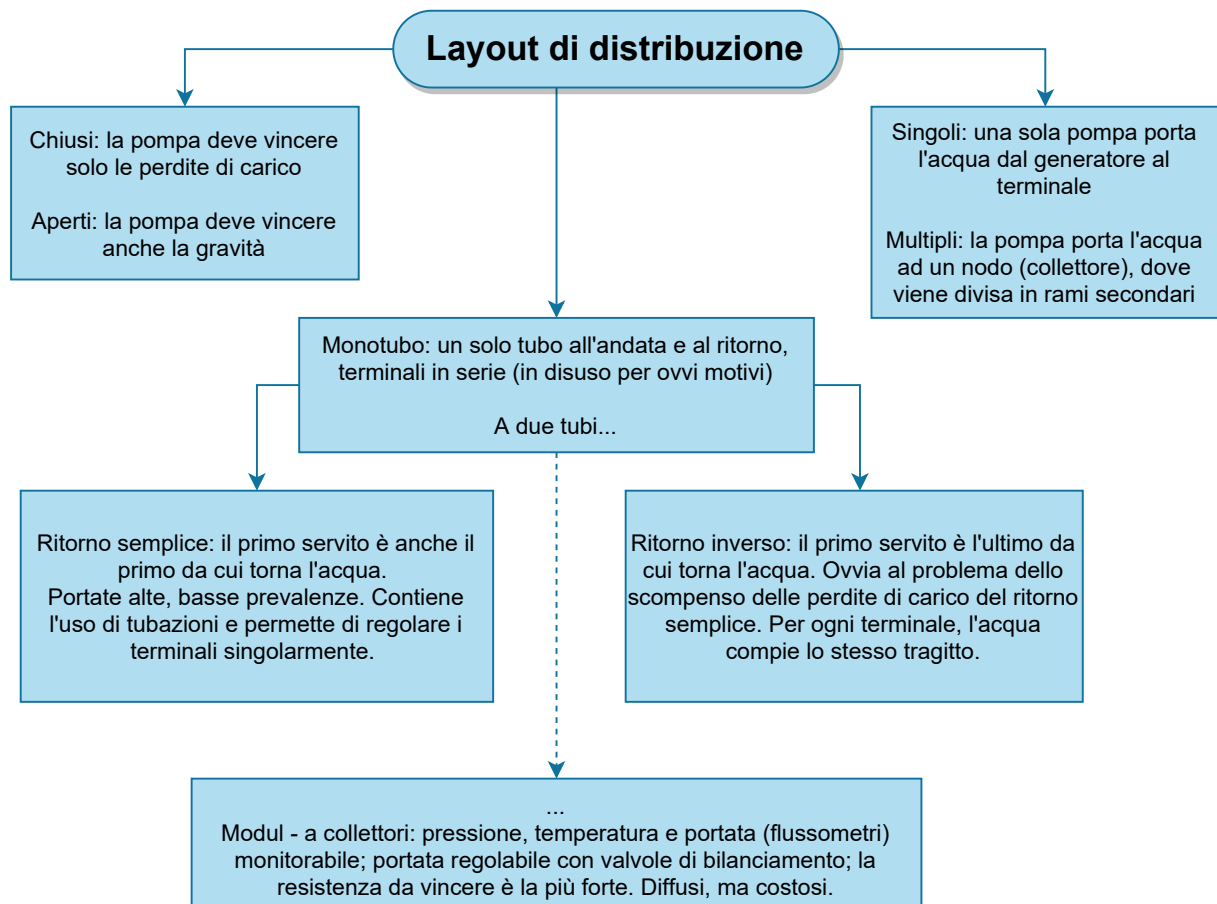
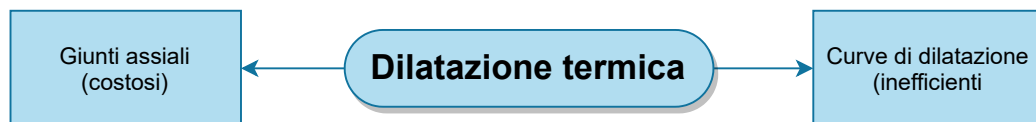
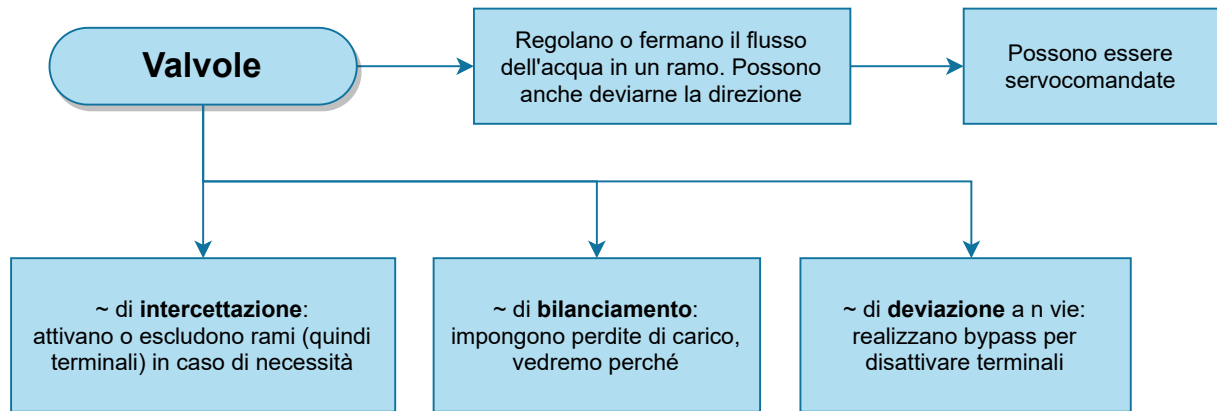
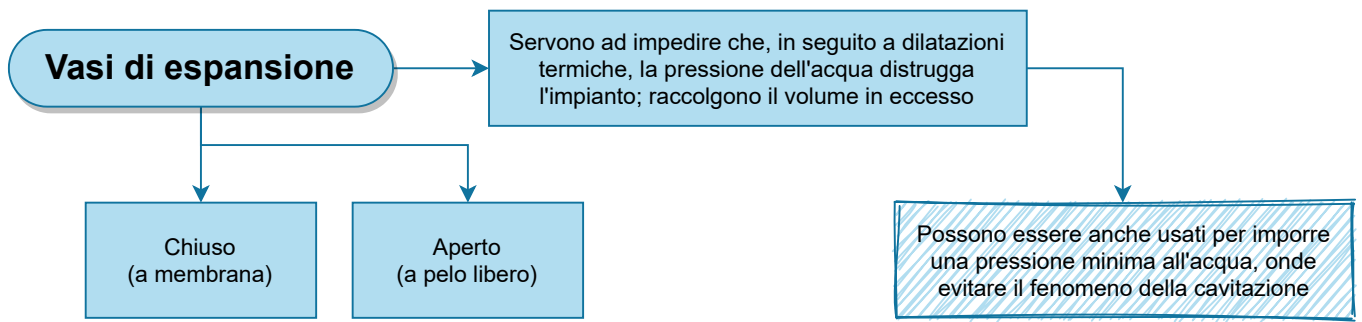
Dove T_L, T_M, T_H sono le temperature dei SET a temperatura bassa, media e alta rispettivamente.

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_G} = \frac{T_M^{-1} - T_H^{-1}}{T_L^{-1} - T_M^{-1}} \quad [\text{Naturalmente, } T \text{ espresse in } K]$$

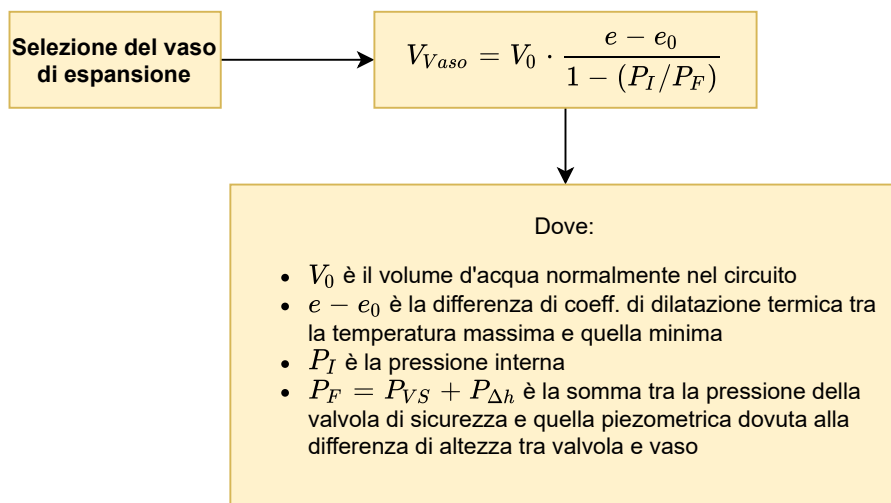
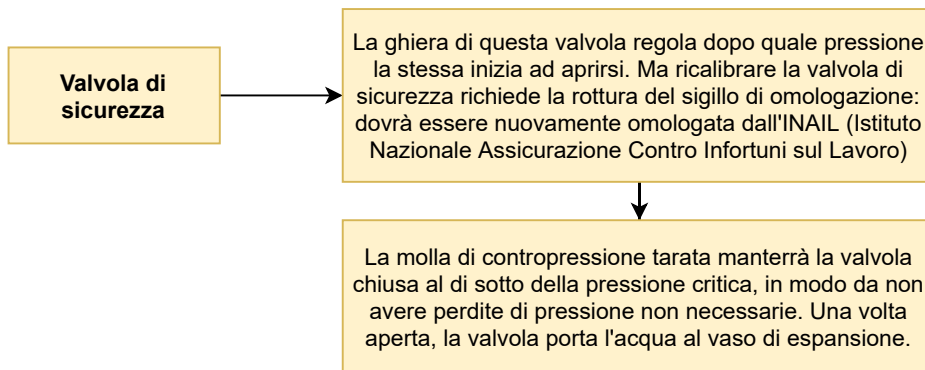
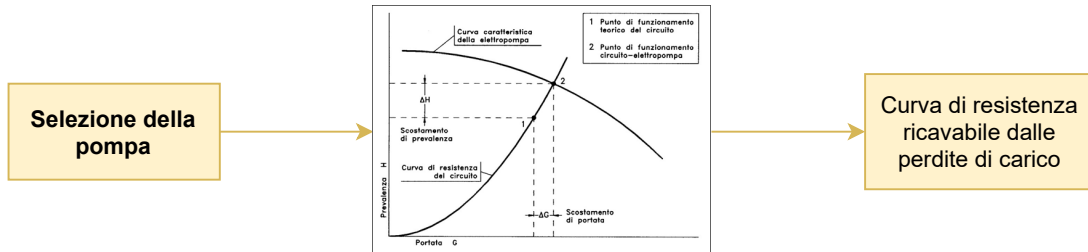
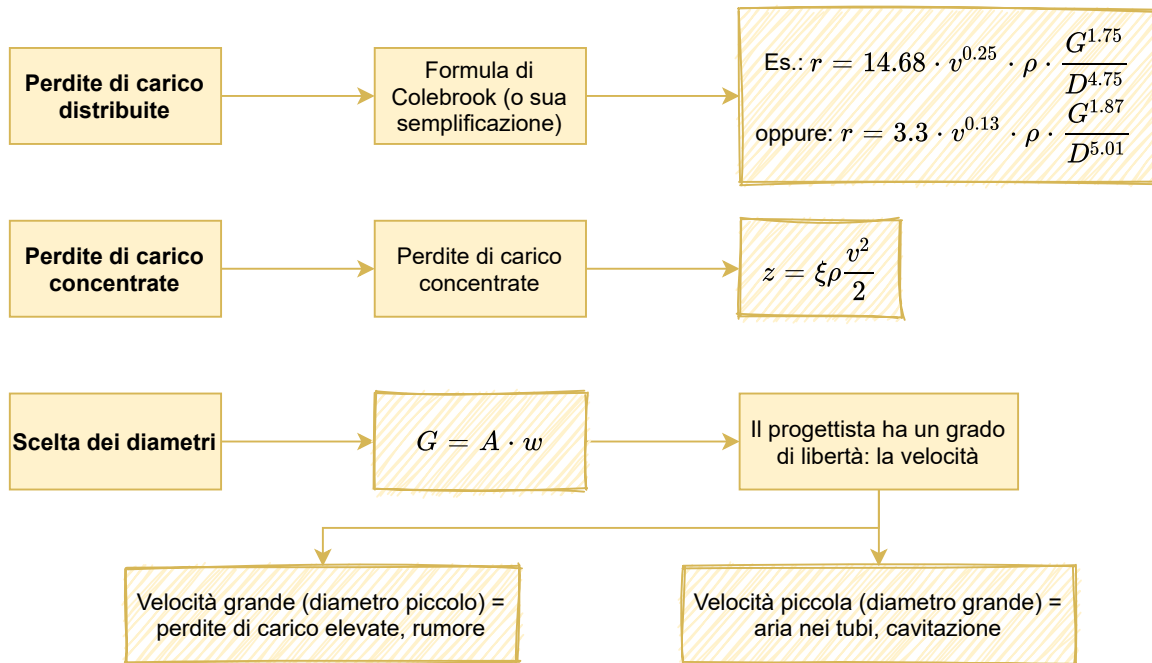


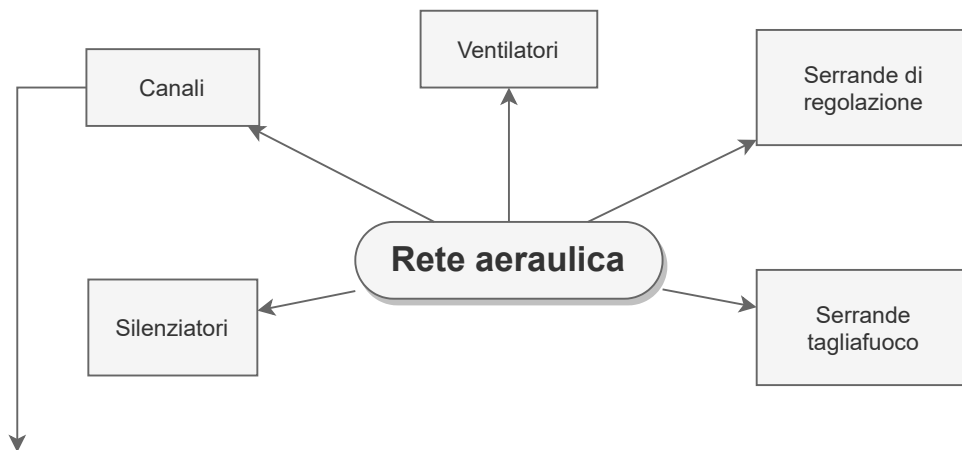






Dimensionamento della rete idronica





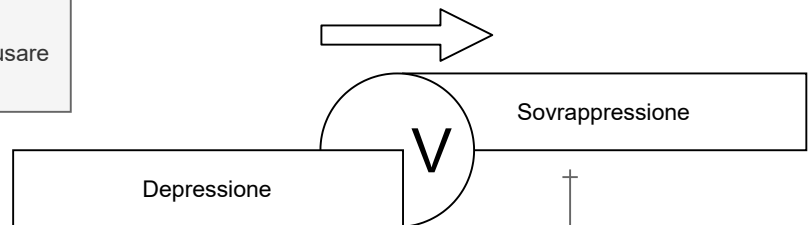
Lamiera zincata: realizzati in cantiere e assemblati per rivettatura. Robusti ma pesanti e accumulano sporcizia.

Tessili: sistemi di trasporto, ma anche di emissione per sovrappressione (l'aria permea attraverso la superficie). Possono essere smontati e sanificati.

Microforati: in metallo, anche essi servono come terminali.

Poliuretano espanso: isolato esternamente da fogli di alluminio, è fonoassorbente; di contro è costoso e non durevole perché assemblato per incollaggio.

Flessibili: facili da installare, ma alte perdite di carico (usare per brevi tratti).



Le perdite di carico sono perdite di pressione. Inizialmente, la pressione dinamica dell'aria prelevata è già negativa a causa della ventilante, e tende a diminuire ulteriormente. La ventilante inserirà una prevalenza, cosa che comporta l'aumento di pressione dinamica e pressione totale. Tale prevalenza sarà tale da compensare per le perdite di carico, in modo che all'uscita la pressione dinamica sia nulla e la totale vada rapidamente a zero con l'immissione dell'aria nell'ambiente.

Per alcuni canali, depressione e sovrappressione sono cruciali: ad esempio, i tessili (caso limite) si deformano notevolmente, comprimendosi nel primo caso ed espandendosi nel secondo. Questi due stati sono tuttavia importanti nella climatizzazione perché mettendo in depressione un locale contenente aria "sporca" (WC, laboratori, cucine) e in sovrappressione gli altri, l'aria "sporca" non fluirà spontaneamente verso i locali "puliti".

Dove collochiamo il ventilatore per l'espulsione dell'aria "sporca" non riciclabile? Ovviamente vicino all'uscita, perché non vogliamo mettere in sovrappressione la cappa di aspirazione, rischiando che l'aria rientri attraverso le pareti.

Le differenze di pressione sono dell'ordine delle decine/centinaia di Pascal

Materiale	Classificazione
Canale in PVC	Liscio
Canale in lamiera di alluminio	($\epsilon = 0.03 \text{ mm}$)
Canale in lamiera di ferro, liscio	Mediamente
Canale in lamiera zincata, aggraffatura longitudinale e flangia ogni 1,2 mt.	Liscio
Canale circolare in lamiera zincata, spirale e giunti trasversali ogni 3 mt.	($\epsilon = 0.09 \text{ mm}$)
Canale in lamiera zincata con flangia ogni 0.8 mt.	Medio
Canale in fibra di vetro	($\epsilon = 0.15 \text{ mm}$)
	Mediamente
	rugoso
	($\epsilon = 0.9 \text{ mm}$)
Tubo flessibile metallico	Rugoso
Tubo flessibile	($\epsilon = 3 \text{ mm}$)
Calcestruzzo	

v = velocità, m/s		$\Sigma \xi$ = sommatoria coefficienti perdite localizzate, adimensionale										ξ = perdita di carico localizzata, mm c.a.	
v	$\Sigma \xi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Sigma \xi$	v
1.0	z	0.06	0.12	0.18	0.25	0.31	0.37	0.43	0.49	0.55	0.61	z	1.0
1.5	z	0.14	0.28	0.41	0.55	0.69	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	z	1.5
2.0	z	0.25	0.49	0.74	0.98	1.23	1.47	1.72	1.96	2.21	2.45	z	2.0
2.5	z	0.38	0.77	1.15	1.53	1.92	2.30	2.68	3.07	3.45	3.83	z	2.5
3.0	z	0.55	1.10	1.65	2.21	2.76	3.31	3.86	4.41	4.97	5.52	z	3.0
3.2	z	0.63	1.26	1.89	2.51	3.14	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	z	3.2
3.4	z	0.71	1.42	2.13	2.84	3.54	4.25	4.96	5.67	6.38	7.09	z	3.4
3.6	z	0.79	1.59	2.39	3.19	3.97	4.77	5.56	6.36	7.15	7.95	z	3.6
3.8	z	0.89	1.77	2.66	3.54	4.43	5.31	6.20	7.08	7.97	8.85	z	3.8
4.0	z	0.98	1.96	2.94	3.92	4.91	5.89	6.87	7.85	8.83	9.81	z	4.0
4.2	z	1.09	2.16	3.24	4.31	5.41	6.49	7.57	8.65	9.73	10.8	z	4.2
4.4	z	1.19	2.37	3.55	4.73	5.94	7.12	8.31	9.50	10.7	11.9	z	4.4
4.6	z	1.30	2.59	3.89	5.19	6.49	7.78	9.08	10.4	11.7	13.0	z	4.6
4.8	z	1.41	2.83	4.24	5.65	7.06	8.46	9.86	11.3	12.7	14.1	z	4.8
5.0	z	1.53	3.07	4.60	6.13	7.66	9.20	10.7	12.3	13.8	15.3	z	5.0
5.2	z	1.66	3.32	4.97	6.63	8.29	9.95	11.6	13.3	14.9	16.6	z	5.2
5.4	z	1.79	3.58	5.30	7.16	8.94	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	z	5.4
5.6	z	1.93	3.85	5.77	7.69	9.61	11.5	13.5	15.4	17.3	19.2	z	5.6
5.8	z	2.06	4.13	6.19	8.25	10.3	12.4	14.4	16.5	18.6	20.6	z	5.8
6.0	z	2.21	4.41	6.62	8.83	11.0	13.2	15.5	17.7	19.9	22.1	z	6.0
6.2	z	2.36	4.71	7.07	9.43	11.6	14.1	16.5	18.9	21.2	23.6	z	6.2
6.4	z	2.51	5.02	7.53	10.0	12.6	15.1	17.6	20.1	22.6	25.1	z	6.4

Perdite di carico distribuite

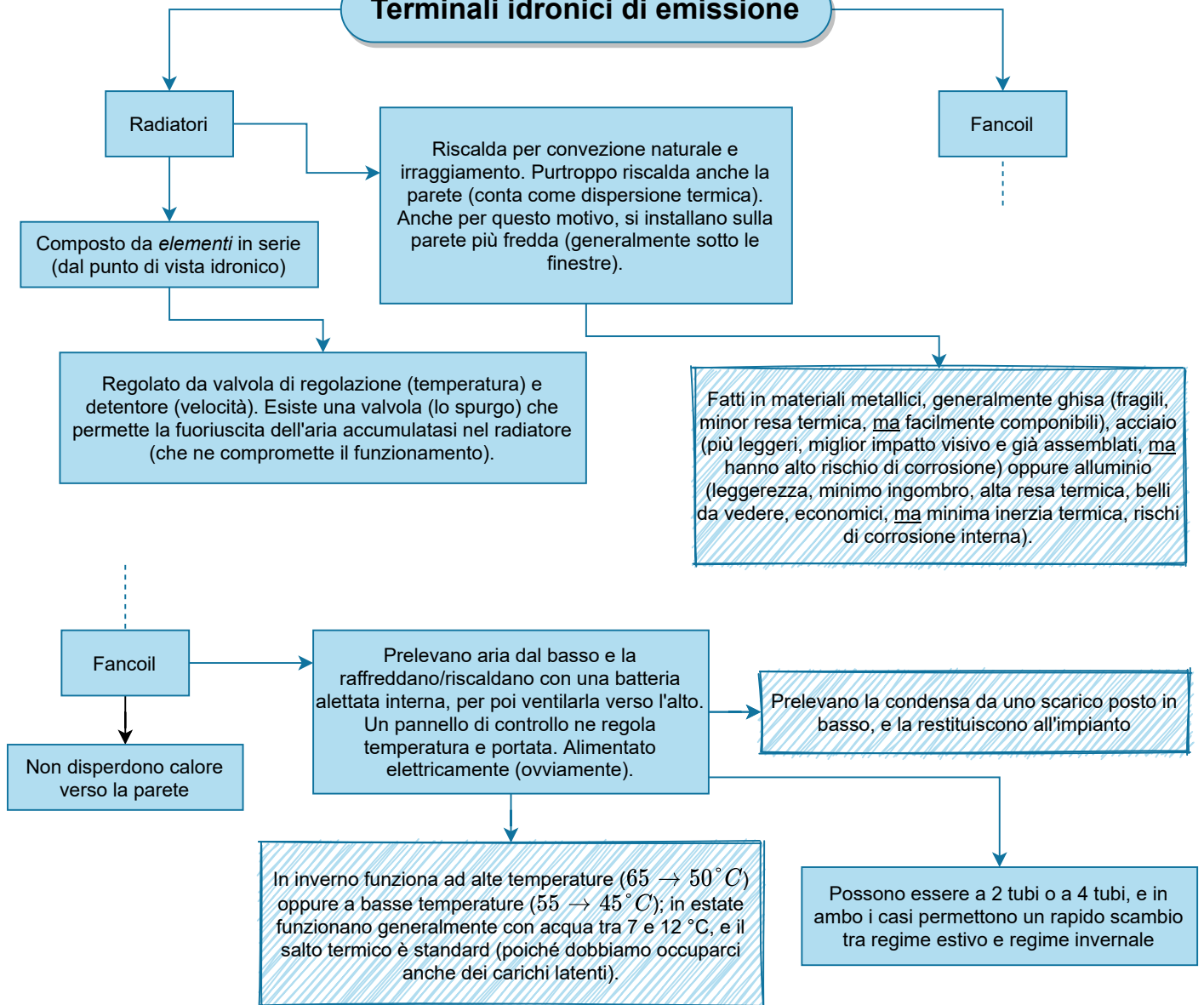
$$\Delta P_{dist} = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\rho \frac{v^2}{2} \right)$$

Perdite di carico concentrate

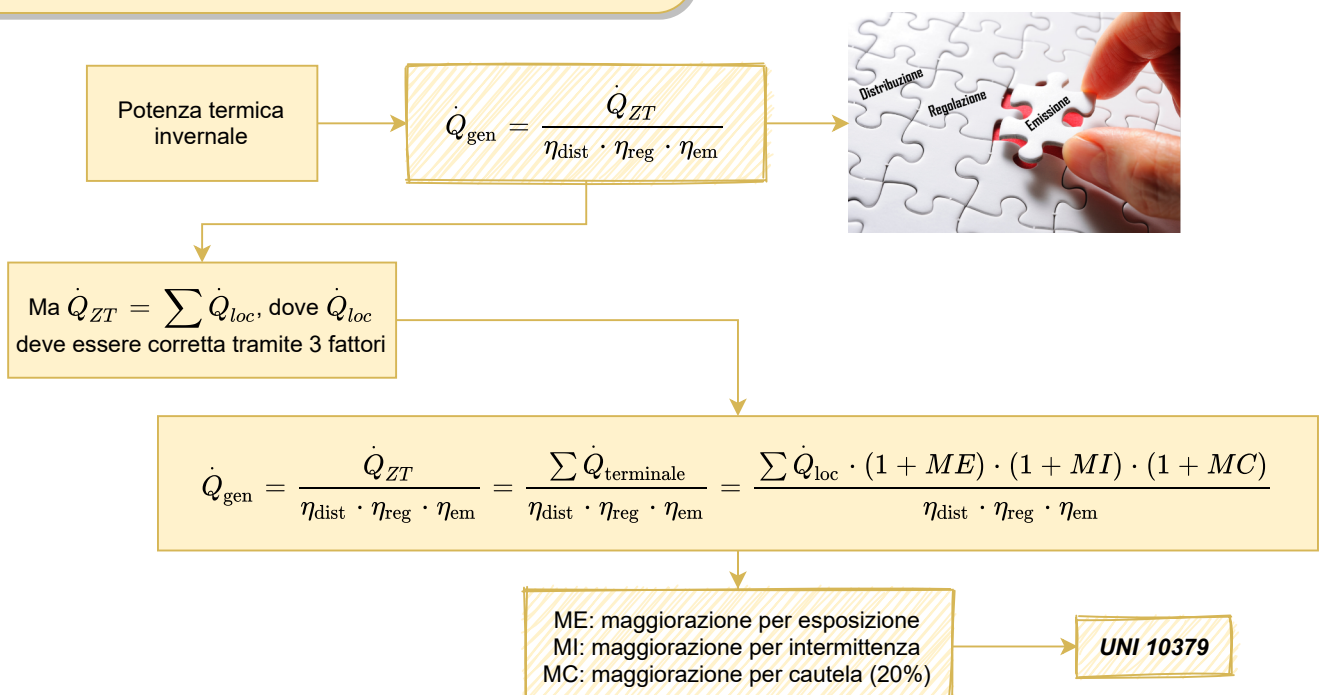
$$\Delta P_{conc} = \xi \cdot P_D$$

Metodo di carico costante

Terminali idronici di emissione



Dimensionamento dei terminali (idronici)



Dimensionamento radiatori

$$\Delta T = T_m - T_\infty$$

$$\dot{Q}_{\Delta T} = \dot{Q}_n \left(\frac{\Delta T}{50} \right)^n$$

Altezza H [mm]	Interasse H' [mm]	Peso [Kg]	Capacità [lit]	Qn EN442(ΔT=50°C) [W/m]	Esp. n di calcolo per ΔT = 50°C Q=Qn*(Dt/50)^n
200	133	0,51	0,40	20,3	1,28832
302	235	0,73	0,52	32,5	1,24809
402	335	0,94	0,64	42,0	1,25905
502	435	1,15	0,76	51,4	1,27000
602	535	1,36	0,88	60,6	1,28095
752	685	1,68	1,06	74,3	1,29739
902	835	1,99	1,24	87,8	1,31382
1002	935	2,20	1,37	96,8	1,31651
1502	1435	3,26	1,97	141,7	1,32995
1802	1735	3,89	2,33	168,9	1,32520
2002	1935	4,32	2,57	187,2	1,31777
2202	2135	4,74	2,81	205,7	1,31033
2502	2435	5,37	3,17	233,7	1,29918

n è la resa, da non confondere con il numero di elementi, dato da:

$$n_{elem} = \frac{\dot{Q}_{terminale}}{\dot{Q}_{\Delta T}}$$

Si può ridurre scegliendo un \dot{Q}_n maggiore oppure cambiando la resa

A questo punto, si può calcolare la portata d'acqua del singolo radiatore, tenendo conto di eventuali perdite:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{terminale}}{\rho \cdot c_p \cdot (T_m - T_r)}$$

Dimensionamento fancoil

In inverno, le dispersioni vanno maggiorate dei tre fattori ME, MI e MC.

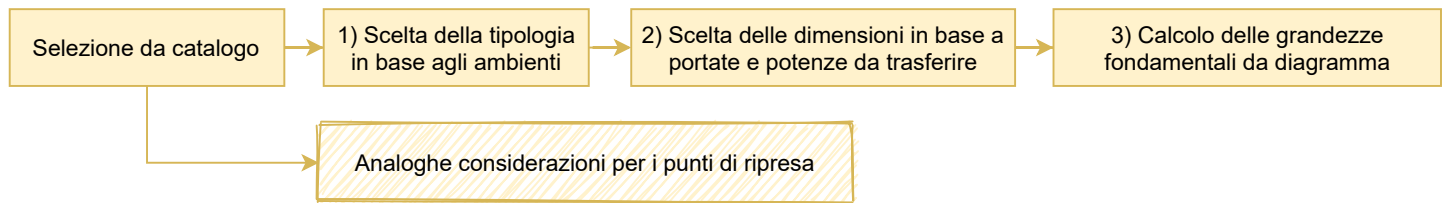
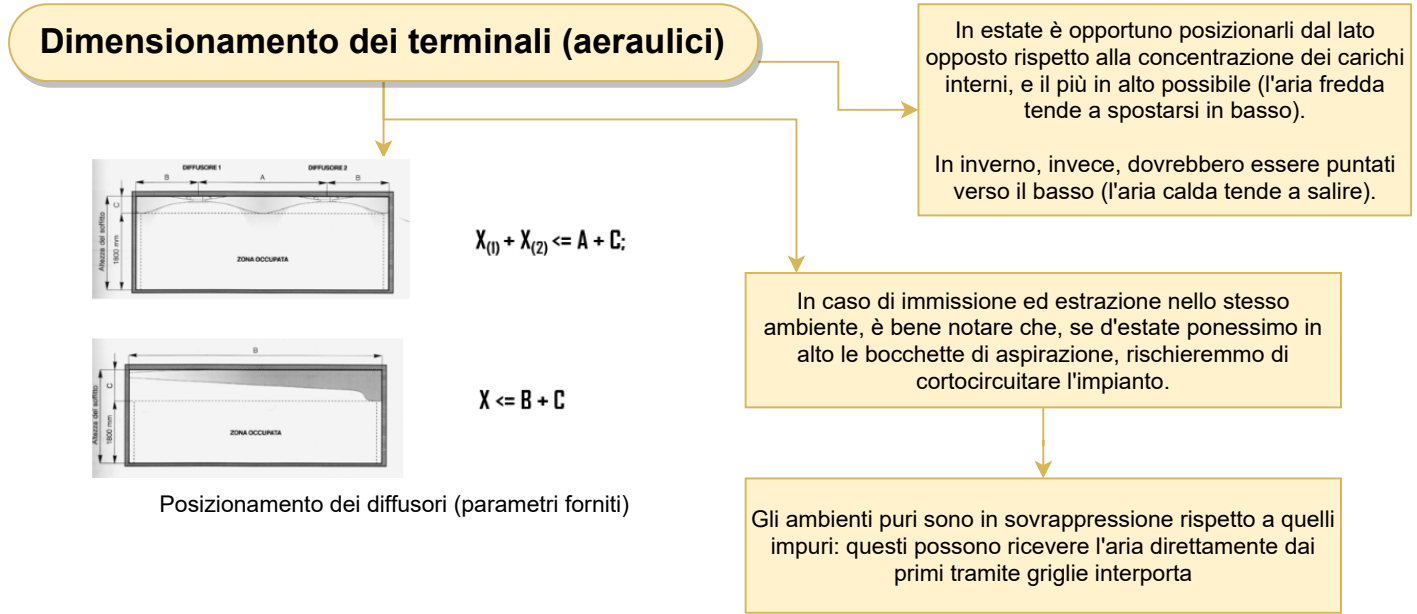
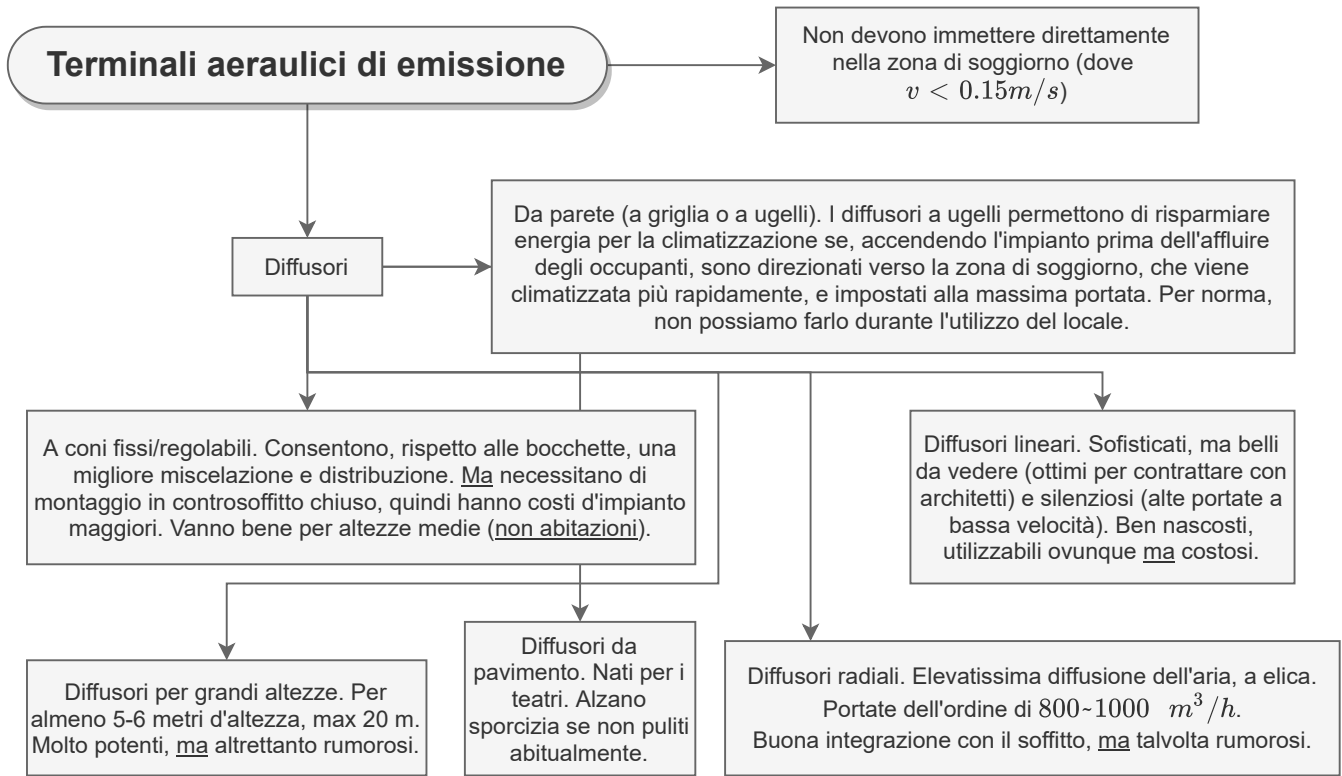
In estate, vanno distinti carichi sensibili e latenti.

Dati tecnici

Mod. Omnia		HL 11	HL 16	HL 26	HL 36
Potenza termica	W (max.)	2010	2910	4620	5940
	W (med.)	1460	2120	3830	4870
	W (min.)	1060	1540	2890	3530
Potenza termica (acqua ingresso 50°C)	W (f)	1150	1700	2750	3540
Portata acqua	l/s	173	250	397	511
Perdite di carico acqua	kPa	1,4	3,7	10,5	7,4
	W (max.) (f)	840	1200	2030	2830
	W (med.)	650	950	1780	2110
	W (min.)	490	690	1430	1750
Potenza frigorifera totale	W (max.) (f)	700	990	1640	2040
	W (med.)	530	750	1370	1790
	W (min.)	390	520	1050	1280
Potenza acqua	l/s	144	206	349	487
Perdite di carico acqua	kPa (f)	1,9	4,8	11,0	9,5
	l/s (max.)	180	240	330	460
	m³/h (med.)	120	160	270	330
	m³/h (min.)	80	110	190	240
Portata d'aria	m³/h	1	1	2	2
Numero di ventilatori	n	1	1	2	2
Pressione sonora	dB (A) (max.)	37,5	39,5	39,5	39,5
	dB (A) (min.)	28,5	34,5	34,5	32,5
	dB (A) (med.)	22,5	25,5	26,5	25,5
Potenza sonora	dB (A) (max.) (f)	46,0	48,0	48,0	48,0
	dB (A) (min.) (f)	37,0	43,0	43,0	41,0
	dB (A) (med.) (f)	31,0	34,0	35,0	34,0
Contenuto acqua	l	0,4	0,5	0,8	1,1
Potenza max. motore	W	18	32	35	42
Corrente max. assorbita	A	0,09	0,15	0,18	0,22
Attacchi batteria	ø	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"

Grandezza (Sizes)		Vel. (Speed)	Portata aria (Air flow) [m³/h]	TEMPERATURA ACQUA (Water Temperature) [°C]																	
				Entrata (Inlet) 50°C			Uscita (Outlet) 40°C			Entrata (Inlet) 70°C			Uscita (Outlet) 60°C			Entrata (Inlet) 80°C			Uscita (Outlet) 70°C		
				Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza sens. (Sensible capacity) [W]			
10	1	108	40	0,3	465	72	0,9	837	88	1,3	1023	116	2,3	1343	140	3,7	1655				
	2	141	53	0,5	610	95	1,6	1099	116	2,3	1343	140	3,7	1655	171	5,8	1983				
	3	221	73	1	843	131	3	1517	160	4,3	1855	171	5,8	1983	206	7,7	2407				
20	1	118	40	0,4	465	72	1,1	837	88	1,5	1023	116	2,3	1343	140	3,7	1655				
	2	169	55	0,7	640	99	2,1	1151	121	2,9	1407	140	3,7	1655	171	5,8	1983				
	3	253	78	1,4	901	140	4,1	1622	171	5,8	1983	206	7,7	2407	259	12,5	3006				
30	1	188	63	0,8	727	113	2,6	1308	138	3,5	1600	160	4,3	1855	171	5,8	1983				
	2	264	88	1,7	1017	158	4,9	1831	193	6,9	2238	206	7,7	2407	259	12,5	3006				
	3	384	118	3	1366	212	8,6	2459	259	12,5	3006	259	12,5	3006	330	24,8	3837				
40	1	239	83	1,8	959	149	5,3	1727	182	7,5	2110	182	7,5	2110	226	13,9	2622				
	2	337	115	3,5	1337	207	10	2407	253	14,6	2942	253	14,6	2942	330	24,8	3837				
	3	469	150	6	1744	270	17,5	3140	330	24,8	3837	330	24,8	3837	429	50,4	4988				
60	1	306	103	3,3	1192	186	9,8	2145	226	13,9	2622	226	13,9	2622	288	19,4	3456				
	2	446	150	7,2	1744	270	21	3140	330	29,8	3837	330	29,8	3837	429	50,4	4988				
	3	612	196	12,1	2267	351	36,6	4080	429	50,4	4988	429	50,4	4988	528	75,3	5952				

Quando si sceglie un ventilconvettore conviene sempre farlo valutando la sua potenza resa, sia essa termica che frigorifera, alla media velocità. In questo modo rimarrà del "margine" per correggere un eventuale sotto stima della dispersione termica del locale.

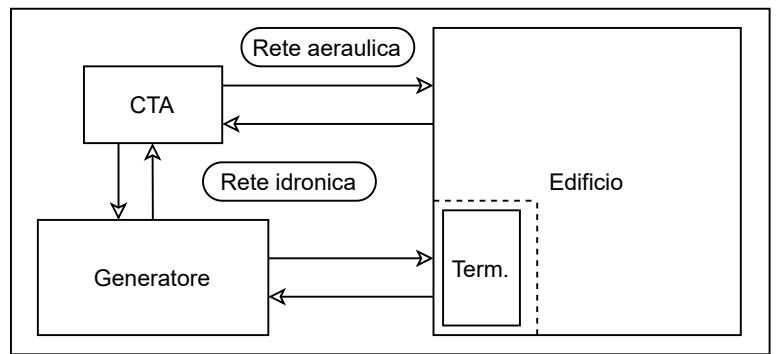


Impianti misti

Il lato idronico si occupa di abbattere i carichi sensibili e - parzialmente - i carichi latenti.

Il lato aeraulico si occupa del ricambio d'aria e dell'abbattimento dei carichi latenti (sui quali il fancoil può agire solo indirettamente).

Possiamo usare il principio di sovrapposizione degli effetti per entrambi gli impianti insieme



$$x_I = x_A \cdot \frac{\dot{m}_{vap}}{\dot{m}_{as}}$$

Possiamo conoscere \dot{m}_{vap}

$$\dot{m}_{vap} = \frac{\dot{Q}_L}{h_{vs}[35^\circ C]}$$

Bilancio estivo:

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L - \dot{m}_{as,e} \cdot (h_r - h_I)$$

Bilancio invernale:

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{Q}_S$$

Impianto ad *aria primaria*, detto così perché l'aria si occupa solo di regolare l'umidità (neutra)