

-weishaupt-



L'Ordine degli ingegneri di Chieti
in collaborazione con **Weishaupt**
organizza il seminario:

Efficienza energetica con sistemi a condensazione e pompe di calore

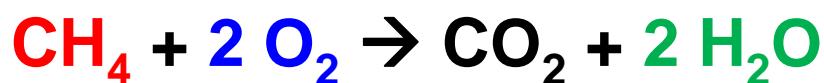
Interventi:

Ing. Giuseppe Totaro, Presidente Ordine Ingegneri Chieti
Ing. Agostino Consalvo, Coordinatore dei lavori, Responsabile
Commissione Impianti Ordine Ingegneri Chieti

Mercoledì 26 giugno 2019
dalle ore 14.30 alle ore 18.30 presso
Itis "Leonardo Da Vinci" - Sala Convegni "De Cecco"
Via Guido Rosato
66034 Lanciano (Ch)

La condensazione

- Nella caldaia, dopo la combustione si deve trasferire il calore all'acqua = **RAFFREDDARE I FUMI**



I fumi contengono vapor acqueo:

- **In passato**: non si poteva far condensare l'acqua:
potere calorifico inferiore (8'250 kcal/Nm³)
- **Oggi**: possiamo far condensare i fumi:
potere calorifico superiore (9'514 kcal/Nm³)

- **La caldaia a condensazione rende di più**

- **perché i fumi escono a temperatura inferiore**:
30-70 °C al posto di 120-160 °C delle migliori caldaie tradizionali
= + 3-6% sul rendimento di combustione
- **perché condensa parte dell'acqua** contenuta nei fumi: fino a $\approx 10\%$
- **perché le perdite a vuoto sono modeste**

Composizione percentuale dei fumi di combustione del metano

	$O_2 = 0\% \text{ f.s.}$ Combustione stechiometrica	$O_2 = 3\% \text{ f.s.}$ Combustione ben condotta	$O_2 = 6\% \text{ f.s.}$ Combustione accettabile	$O_2 = 9\% \text{ f.s.}$ Combustione in forte eccesso d'aria
$\text{CO}_2 [\%]$	9.46	8.21	6.93	5.62
$\text{H}_2\text{O} [\%]$	18.92	16.43	13.87	11.23
$\text{O}_2 [\%]$	0.00	2.75	5.58	8.49
$\text{N}_2 [\%]$	71.62	72.60	73.62	74.66
Punto di rugiada [°C]	59,2	56,2	52,6	48,1

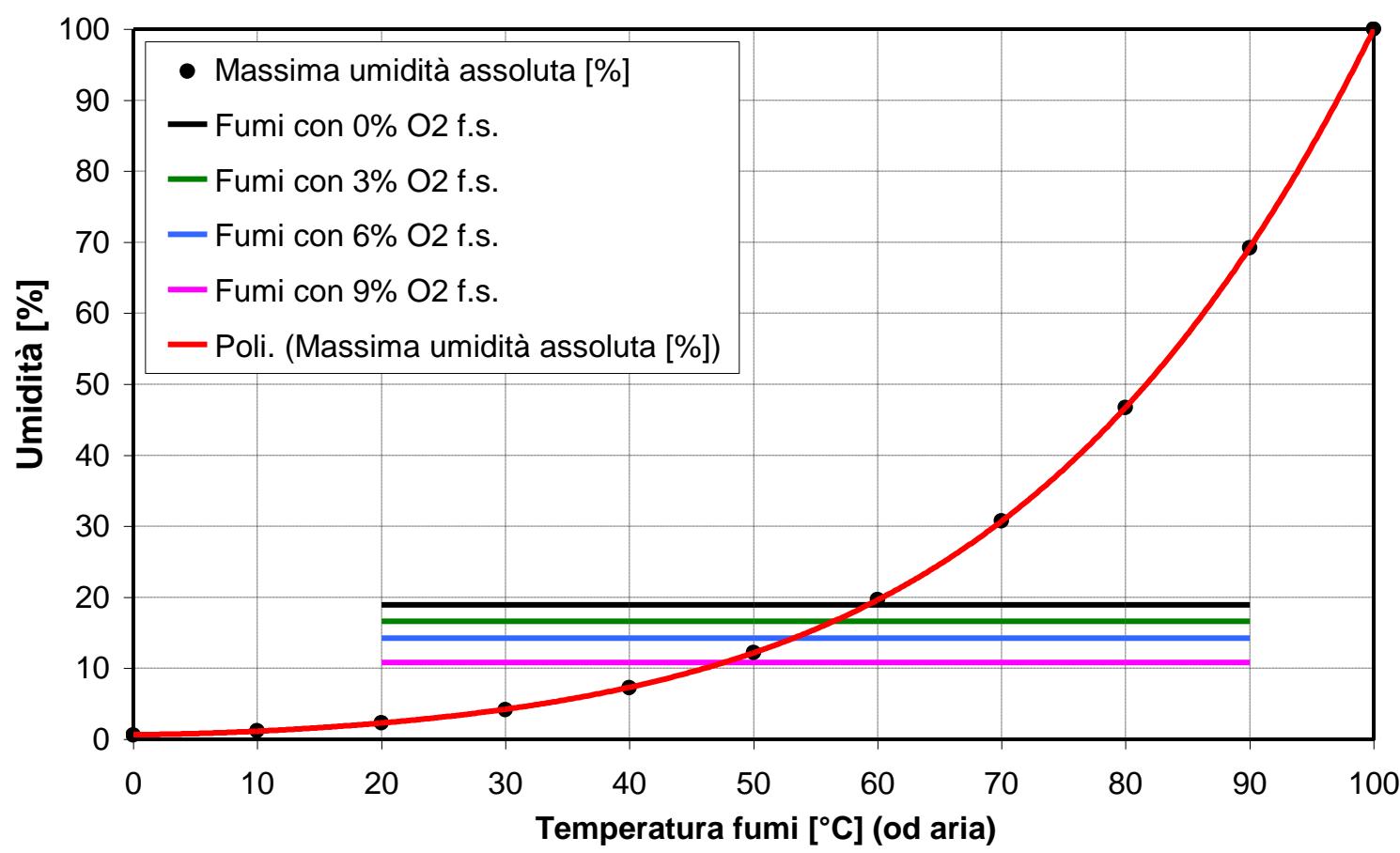
**SE IL BRUCIATORE MODULA SOLO IL GAS,
LA CONDENSAZIONE SI ANNULLA A POTENZA RIDOTTA.**

24/06/2019

Condensazione

3

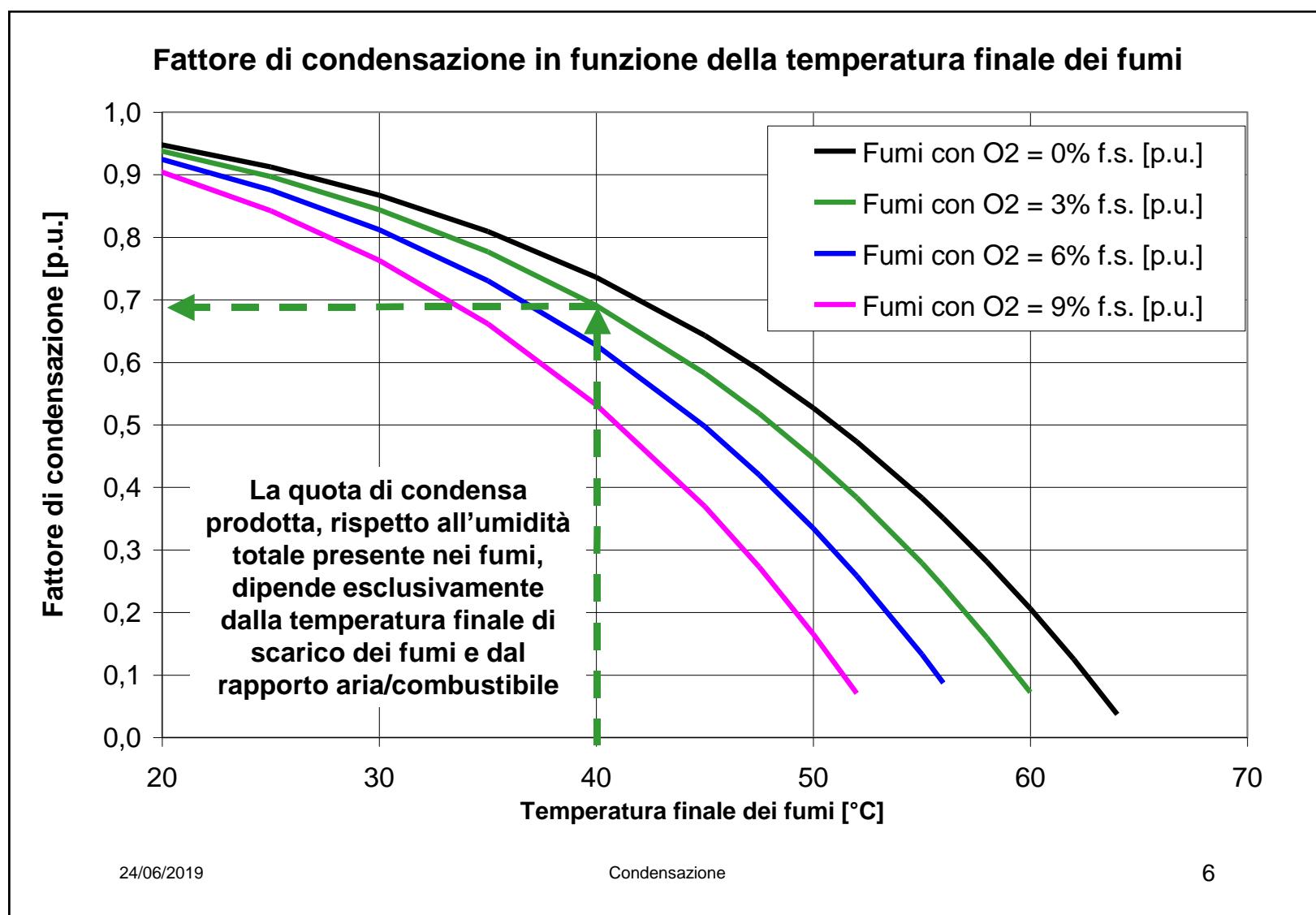
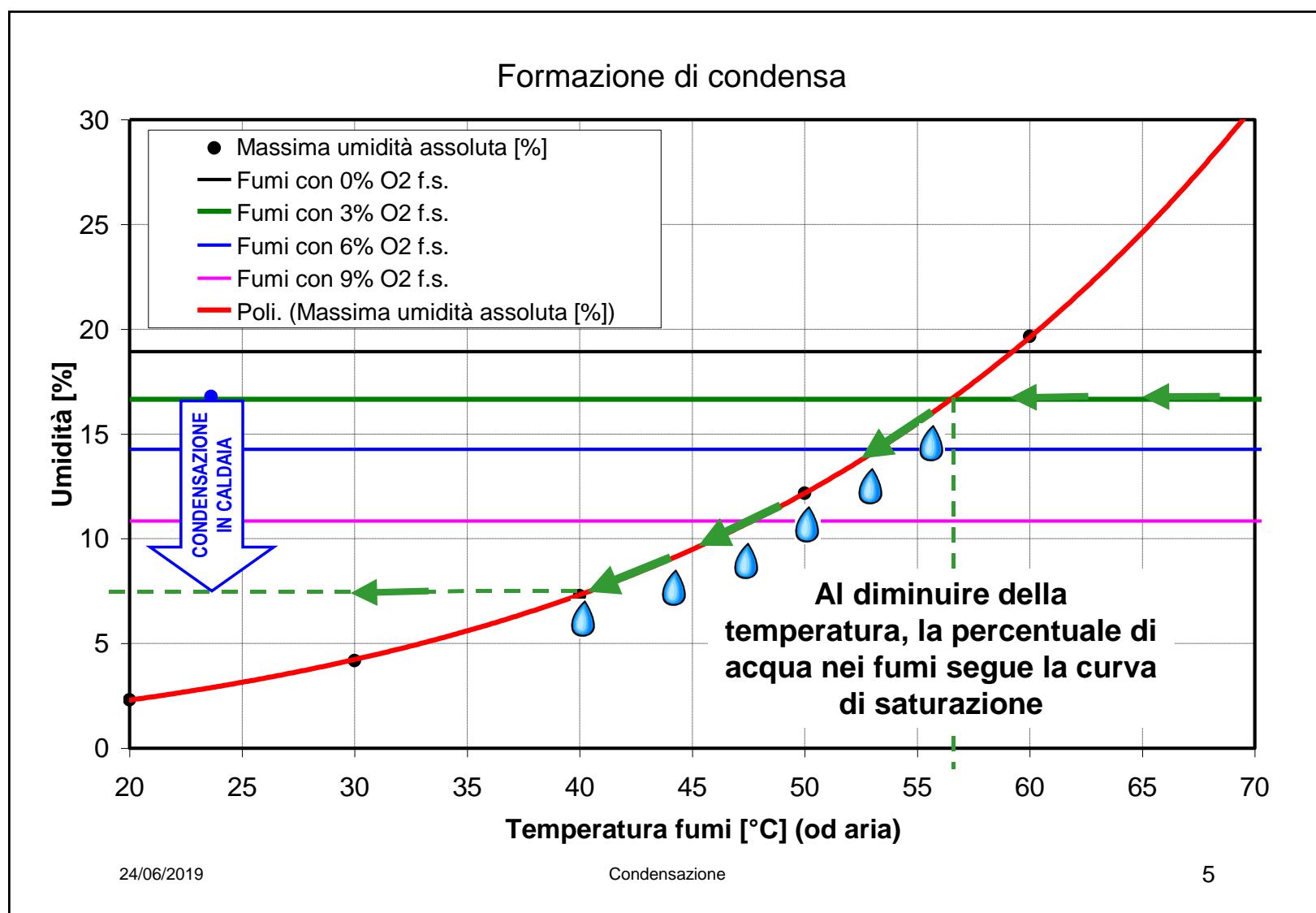
Contenuto massimo di vapor acqueo dei fumi in funzione della temperatura

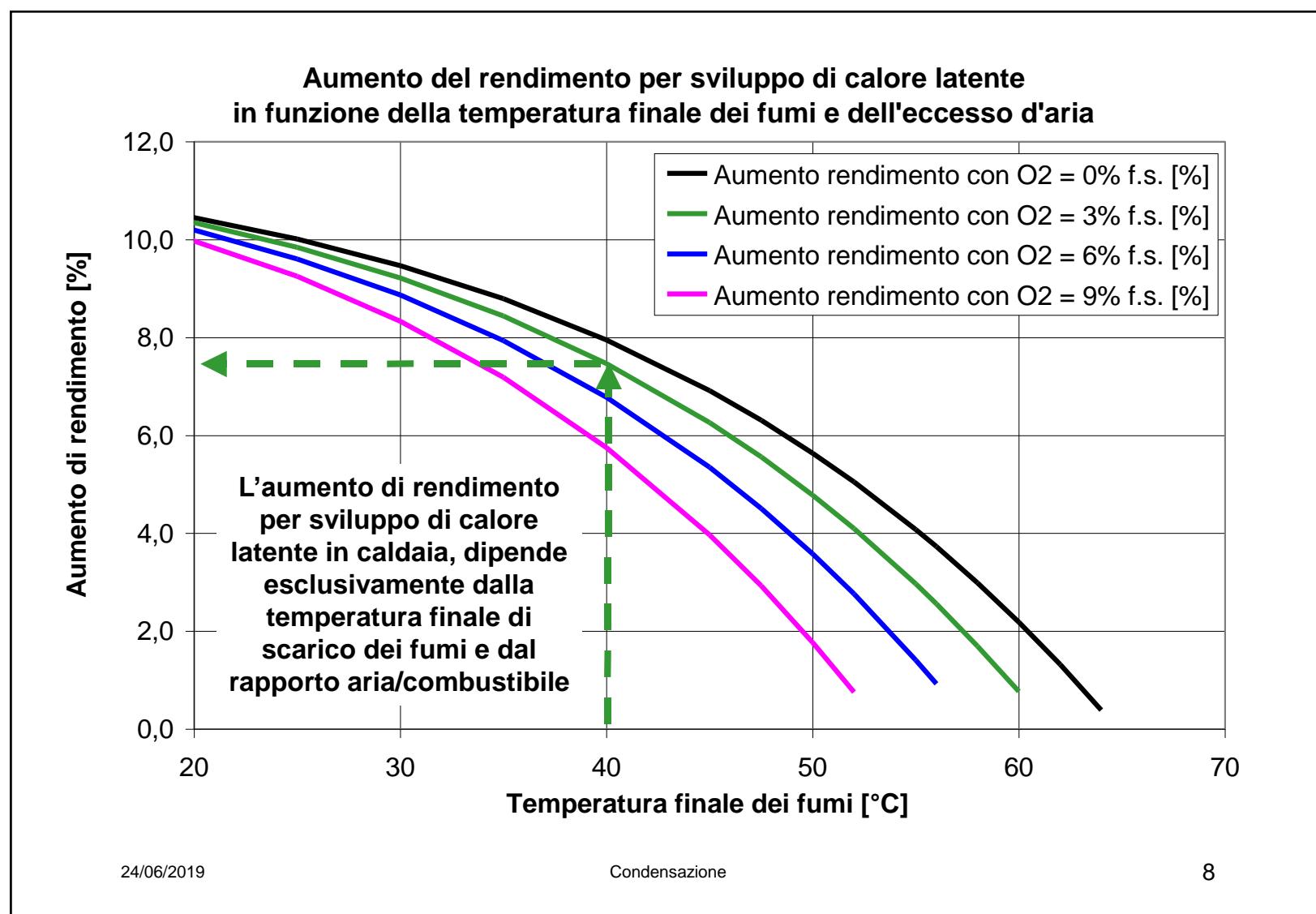
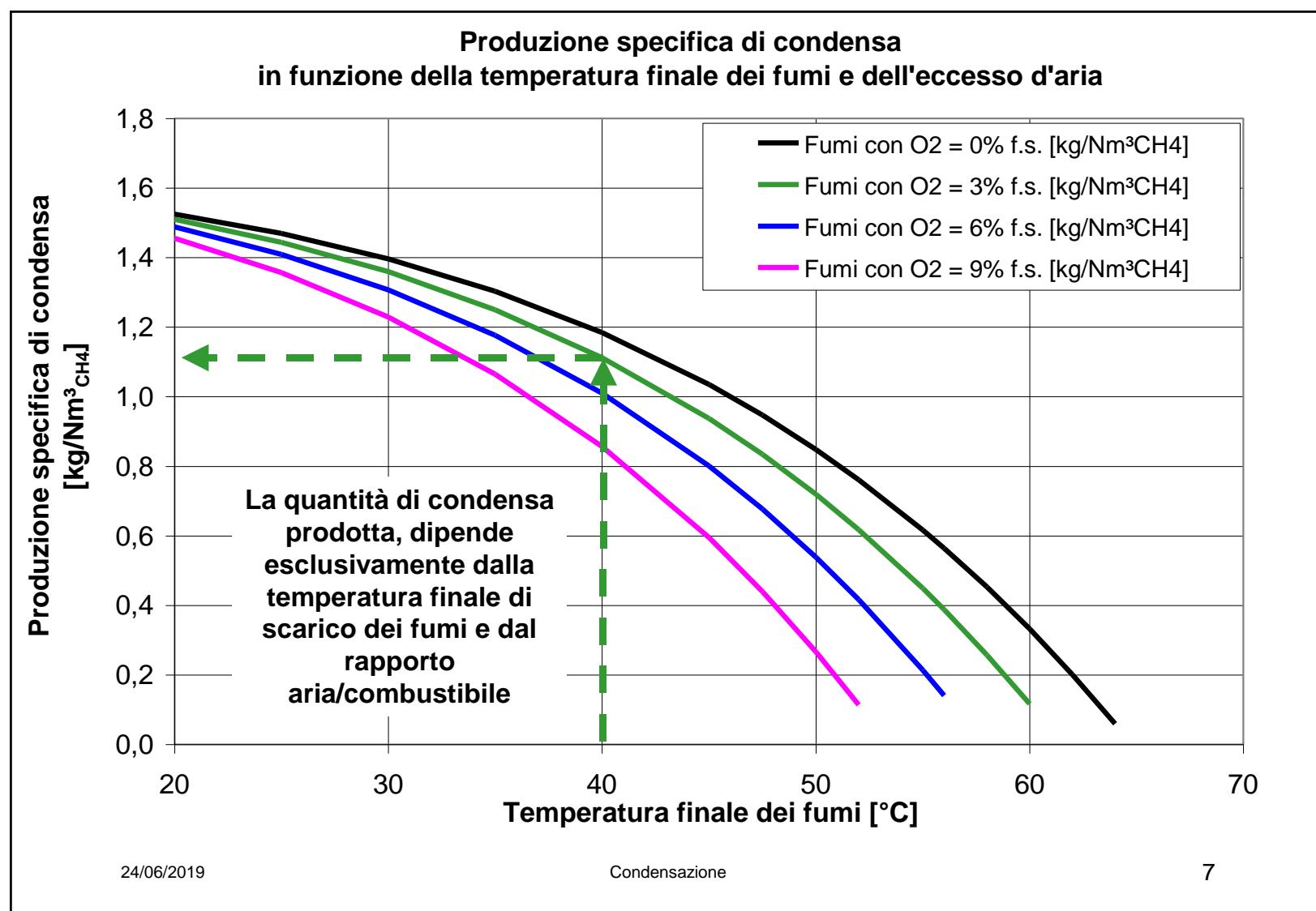


24/06/2019

Condensazione

4





Caldaia a condensazione

Scambiatore in controcorrente

Il focolare è in alto, nella zona ad alta temperatura

I fumi si raffreddano mentre scendono

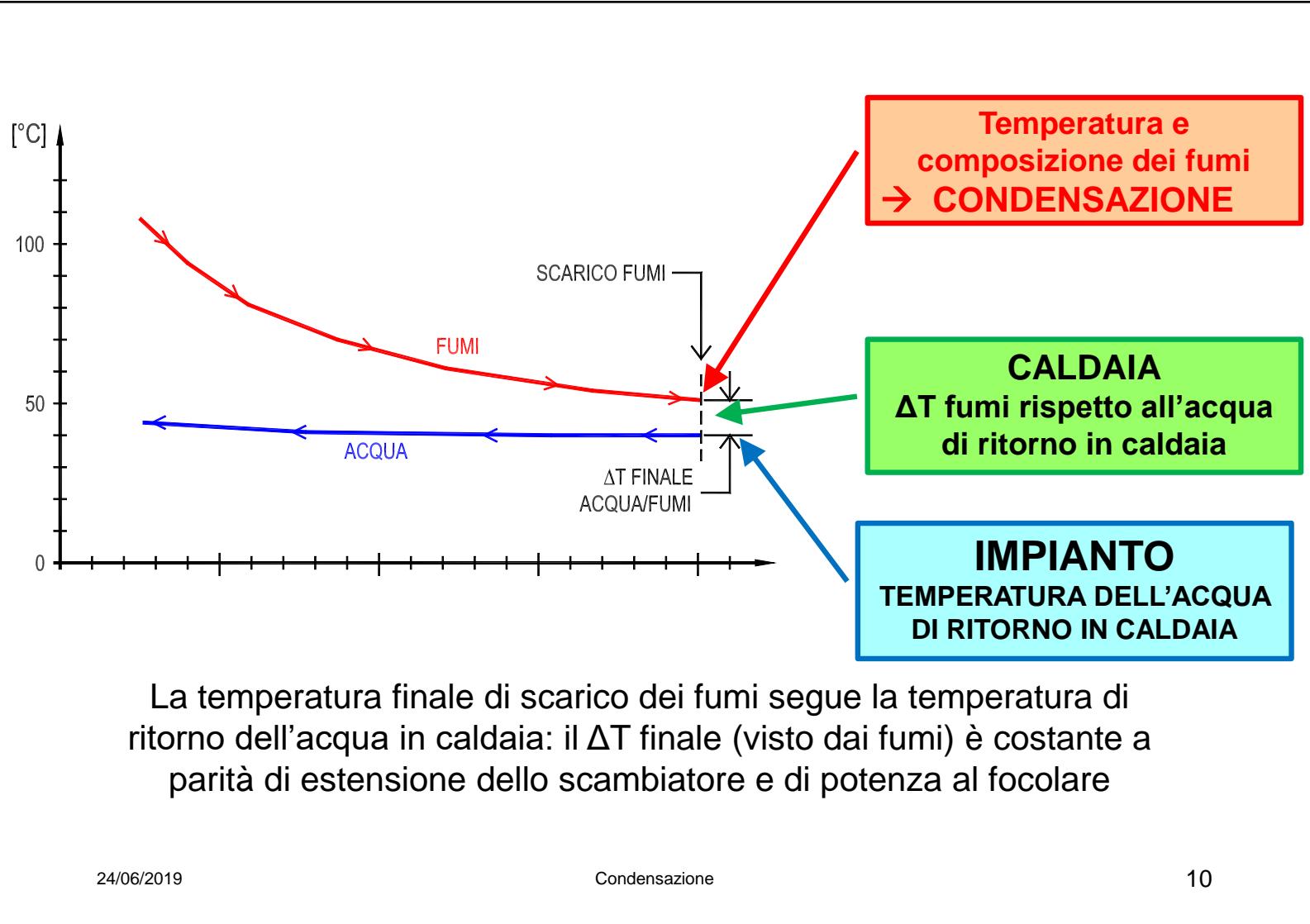
L'acqua di ritorno si riscalda mentre sale.

La condensa cade sul fondo

24/06/2019

Condensazione

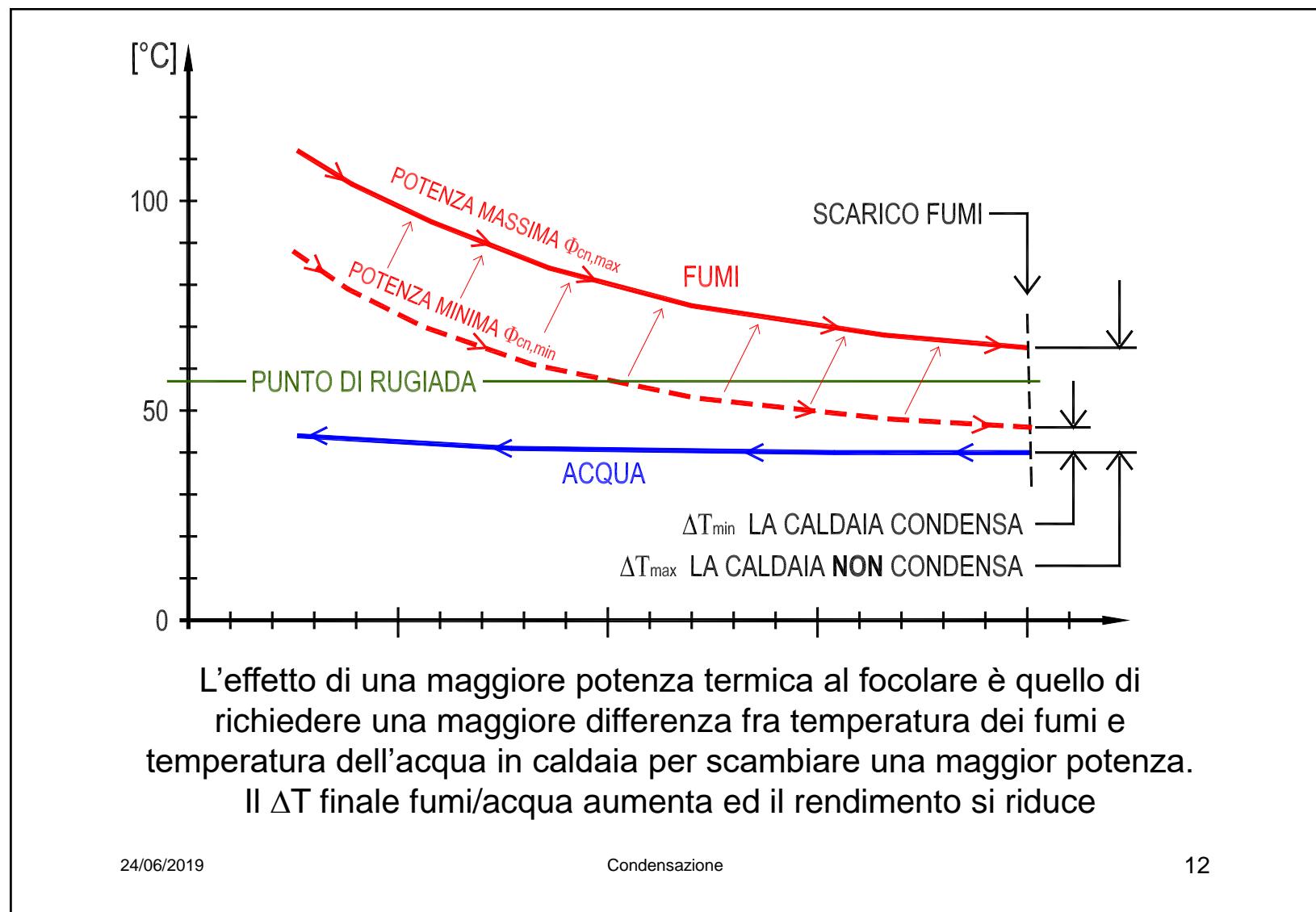
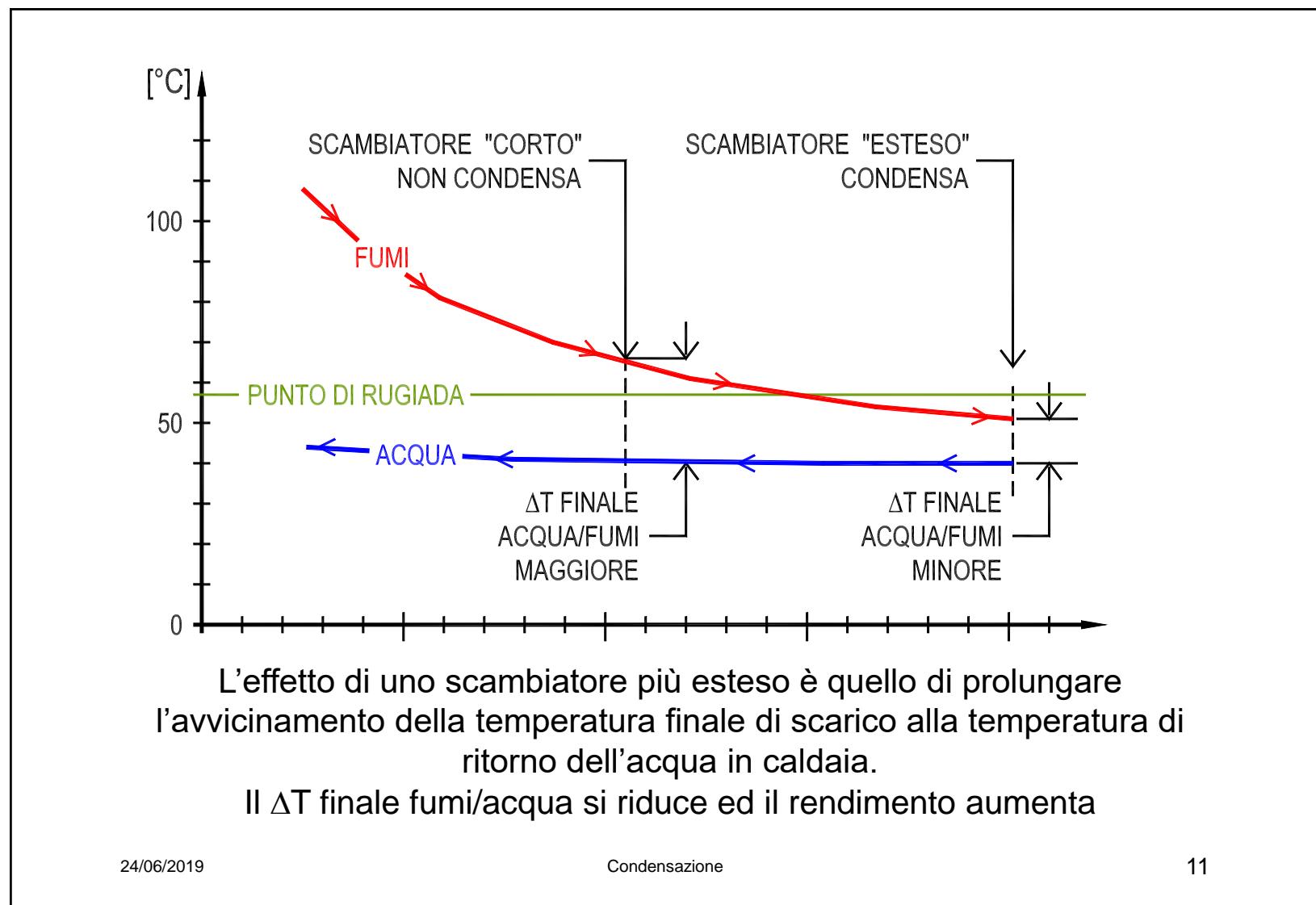
9



24/06/2019

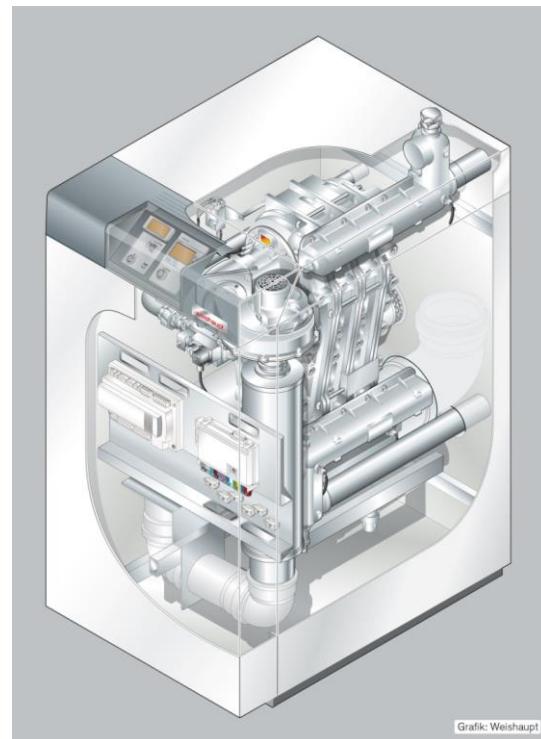
Condensazione

10



Da ricordare ...

- Una caldaia a condensazione è ...una caldaia che **può** condensare.
- Quanta condensa viene realmente prodotta dipende da:
 - Tenore ossigeno fumi
→ Eccesso d'aria sempre al minimo indispensabile
 - Temperatura dei fumi
→ Ridurre la temperatura di ritorno in caldaia
→ gestione delle temperature e delle portate nell'impianto
→ gestione delle temperature e delle portate nel generatore di calore
→ Ridurre la potenza istantanea al focolare:
→ Sfruttare la modulazione di potenza
→ Allungare gli orari di funzionamento



24/06/2019

Condensazione

13

Come si fa a far condensare una caldaia

Secondo l'opinione corrente...

- Ci vuole l'impianto a pannelli per condensare
- Non si può condensare con i radiatori

Domande interessanti:

- **Come si può far condensare una caldaia collegata ad un impianto a radiatori?**
- **Come può NON condensare una caldaia collegata ad un impianto a pannelli?**

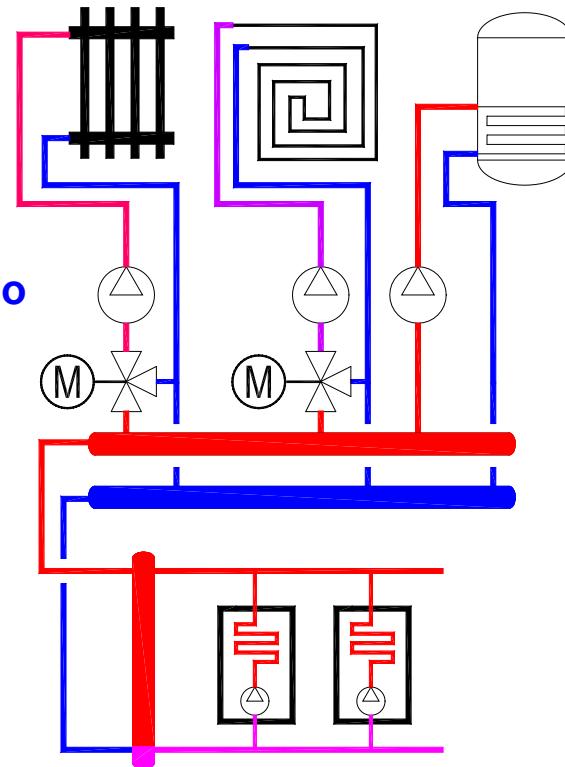
24/06/2019

Condensazione

14

Impianto a condensazione

- **Procurarsi “acqua fredda”**
→ Temperatura di ritorno dai corpi scaldanti
 - **SCELTA DELLA TIPOLOGIA E DIMENSIONAMENTO DEI CORPI SCALDANTI**
- **Portare l’acqua fredda al collettore di ritorno**
→ circuito di distribuzione
 - Scelta dello schema idraulico appropriato
- **Portare l’acqua fredda nel generatore**
→ collegamento del generatore ai collettori della centrale termica
 - Scelta dello schema idraulico appropriato
 - Scelta del generatore adatto



24/06/2019

Condensazione

15

Perché il calcolo delle temperature dell’acqua

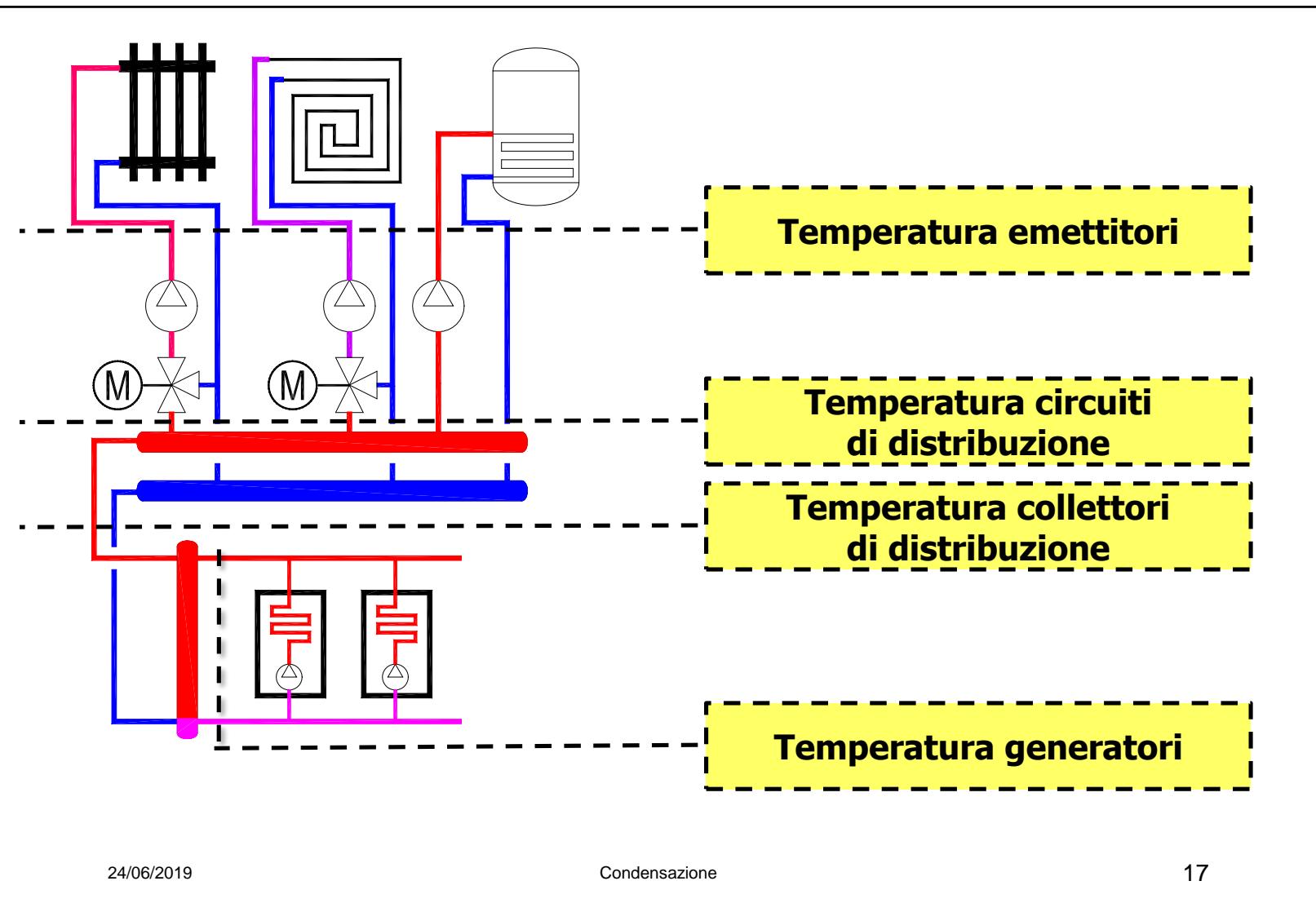
- Calcolo delle temperature del **circuito di distribuzione** (mandata e ritorno)
→ per il calcolo delle dispersioni di rete
- Calcolo della **temperatura media del generatore**
→ per il calcolo delle dispersioni del generatore
- Calcolo della **temperatura di ritorno nel generatore**
→ per il calcolo del rendimento di un generatore a condensazione
- Calcolo della **temperatura di mandata del generatore**
→ per il calcolo del COP di una pompa di calore

NOTA BENE → POTENZA = PORTATA x ΔT x Cp

24/06/2019

Condensazione

16



24/06/2019

Condensazione

17

Calcolo delle temperature dell'acqua nell'impianto

Partendo dai dati di **energia**

si devono calcolare in sequenza, per ogni mese (raccomandazione CTI)

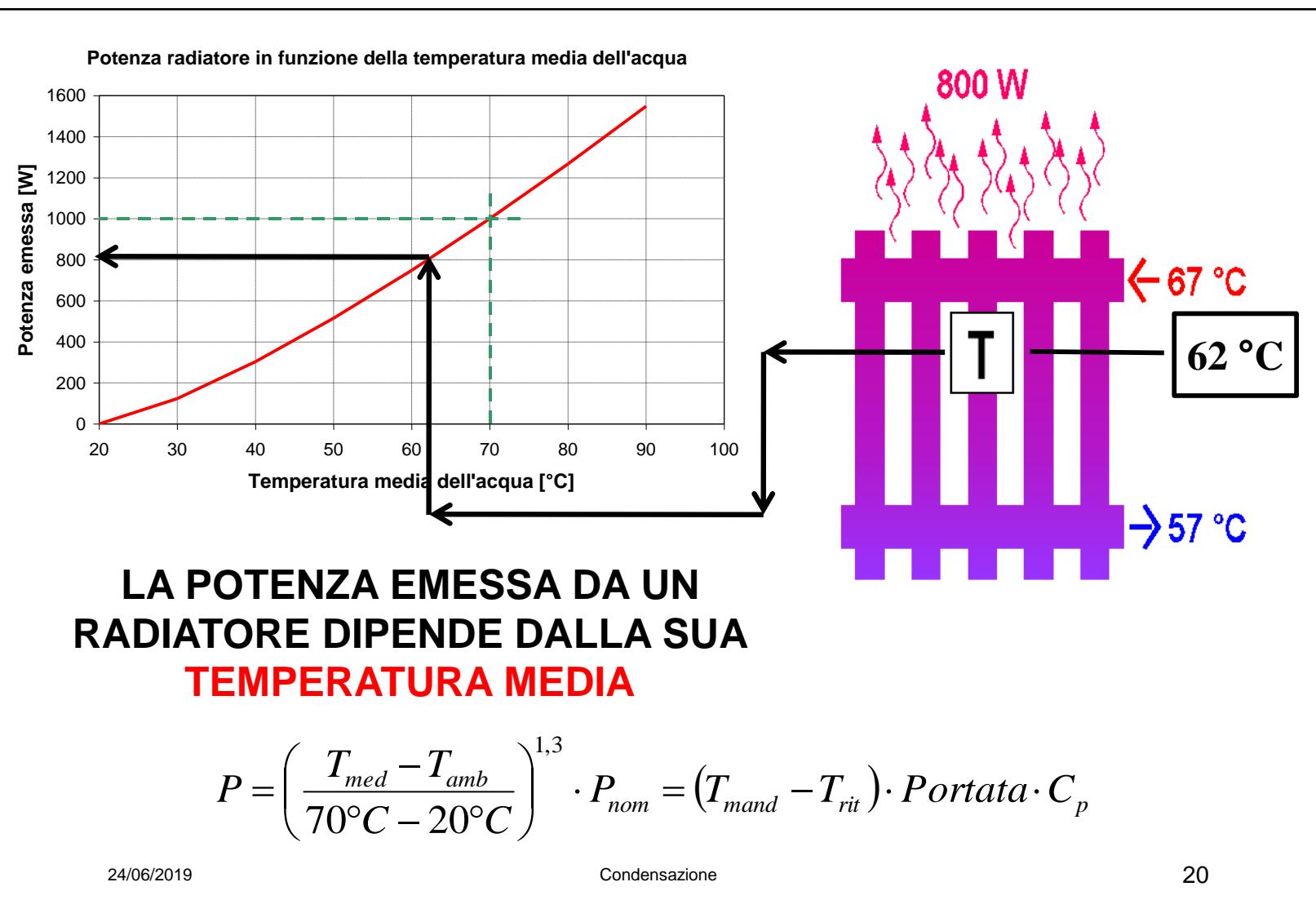
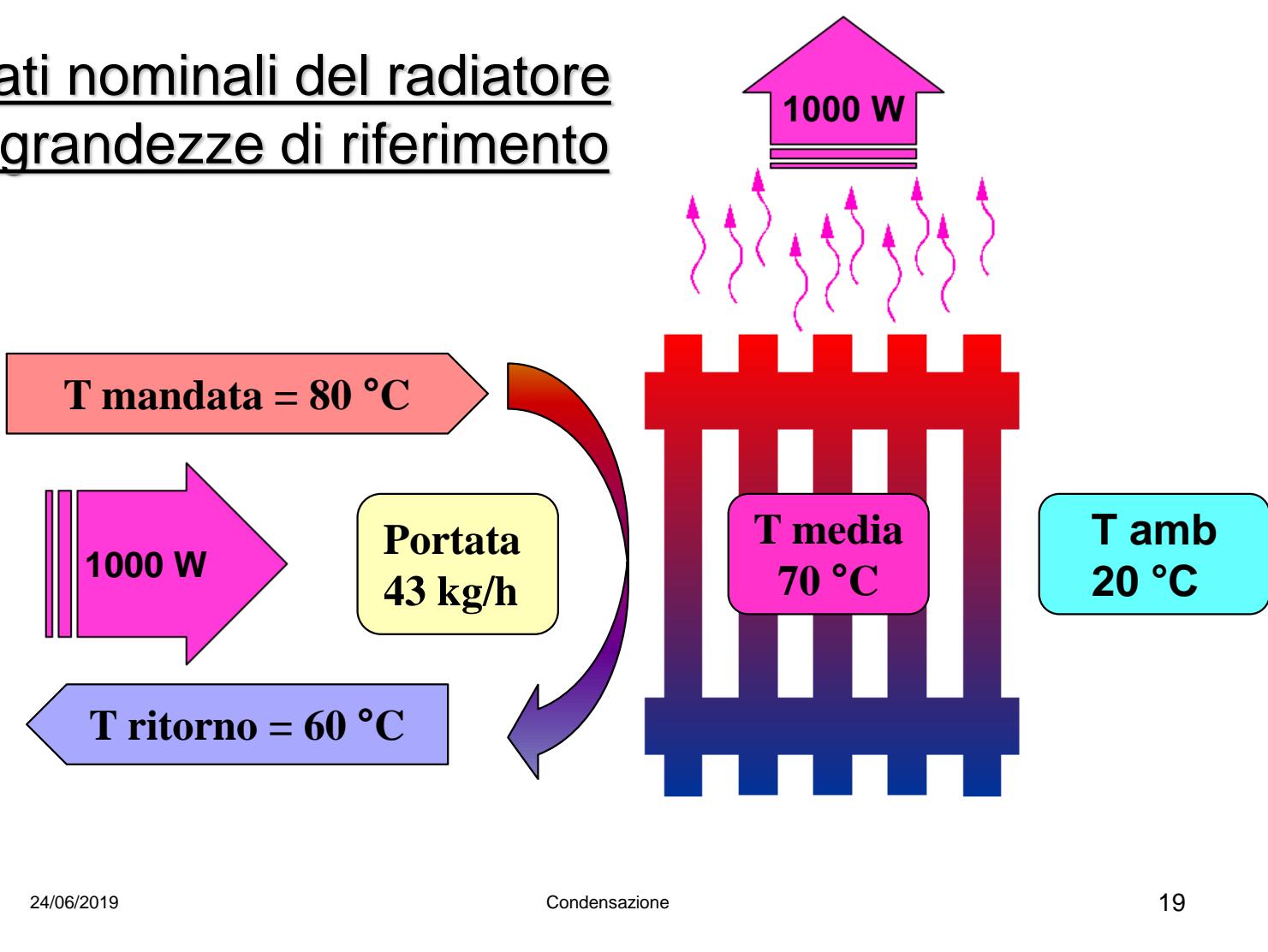
1. Temperatura di mandata e ritorno agli **emettitori**
 - Scelta del tipo e dimensionamento degli emettitori
 - Scelta delle temperature di progetto dell'impianto
2. Temperatura di mandata e ritorno dei singoli **circuiti di distribuzione** (gruppi di emettitori omogenei)
 - In base agli schemi circuitali e di regolazione (diretto, miscelazione, by-pass)
3. Temperatura di mandata e ritorno ai **collettori della generazione** in funzione delle temperature e portate dei circuiti di distribuzione collegati
 - Media delle temperature dell'acqua di ritorno dai circuiti di distribuzione, pesata in base alle rispettive portate
4. Temperatura di mandata e ritorno e portata dell'acqua nei **generatori**
 - Scelta del circuito di generazione (**diretto o con portata indipendente**)

24/06/2019

Condensazione

18

Dati nominali del radiatore e grandezze di riferimento



Perché regolare?

- Il dimensionamento riguarda le condizioni di progetto, cioè quelle di massima potenza richiesta → non succederà quasi mai...
 - Occorre far erogare all'impianto la potenza necessaria istante per istante... occorrono:
 - **circuiti idraulici adeguati**
 - **un sistema di regolazione dell'emissione del calore**
- ... cosa succede a carico ridotto?

24/06/2019

Condensazione

21

Come regolare l'emissione del calore?

Per modulare la potenza all'emissione di un corpo scaldante si può agire su...

- **Temperatura di mandata**
 - In funzione della temperatura esterna o della temperatura interna (raro)
 - Con valvole miscelatrici o generatori a temperatura scorrevole
 - **Portata**
 - In funzione della temperatura interna (o del set-point aria)
 - Con continuità, con valvole termostatiche e valvole a by-pass
 - ON-OFF con valvole di zona (a 2 o 3 vie)
 - **Scambio termico**
 - In funzione della temperatura interna (o del set-point aria)
 - Con attivazione di un ventilatore (ventilconvettori ed aerotermi)
- ... o una loro combinazione ...

24/06/2019

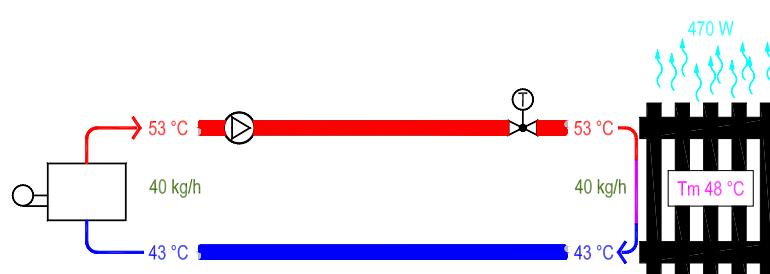
Condensazione

22

Circuiti di distribuzione fondamentali

● Circuito diretto

Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta



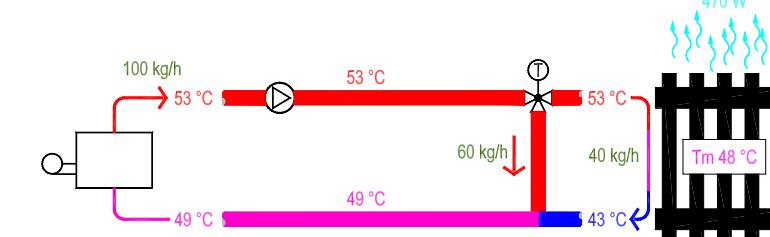
● Circuito miscelato

Utilizzato per alimentare utenze a temperatura inferiore a quella di mandata



● Circuito a by-pass

L'utenza lavora a temperatura di mandata uguale al generatore ed a portata variabile. Utilizzato per garantire la portata (?).

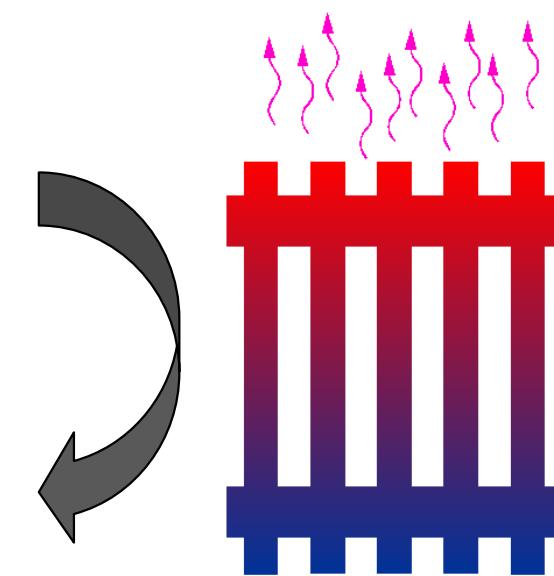
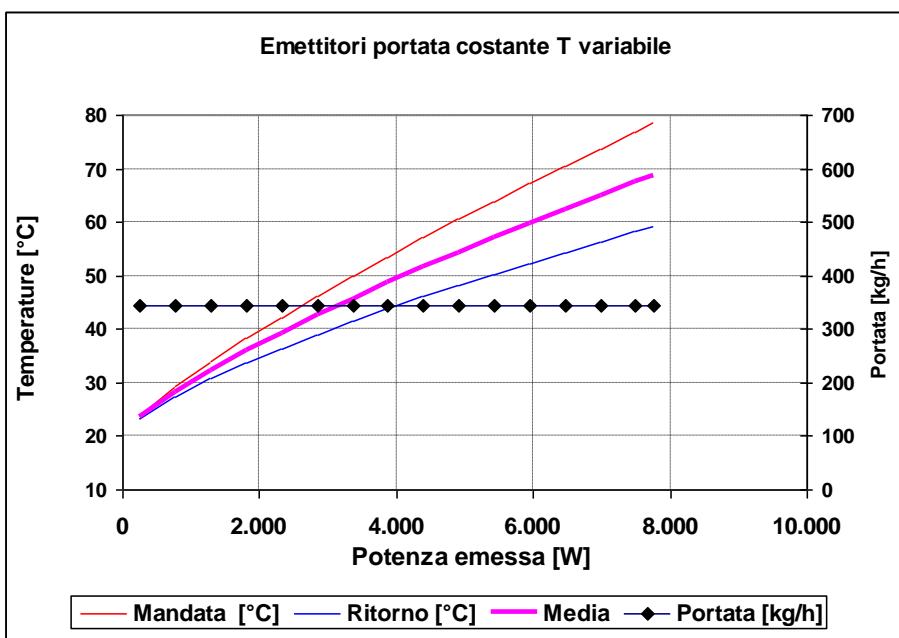


24/06/2019

Condensazione

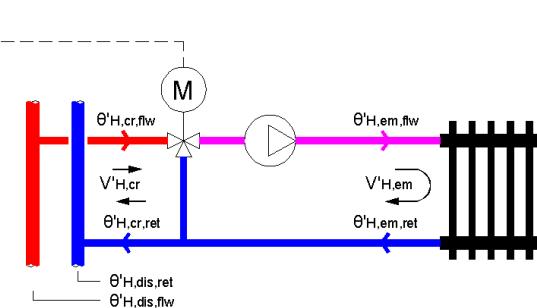
23

Regolazione a temperatura variabile e portata costante



La portata è costante

La potenza è funzione della temperatura di mandata (meglio: di quella media)



24/06/2019

Condensazione

24

Scelta della potenza nominale

La **potenza nominale di progetto** del corpo scaldante $\Phi_{nom,prog}$ risulta da:

- Carico termico di progetto Φ_{prog}
- Temperatura media di progetto desiderata $\theta_{m,prog}$

Per ottenere la temperatura media $\theta_{m,prog}$ desiderata, noti:

- La temperatura media nominale $\theta_{m,nom}$ dei corpi scaldanti (70 °C)
- L'esponente del corpo scaldante n (radiator → 1,3)
- La temperatura ambiente di riferimento $\theta_{int} = 20$ °C

→ si ricava la potenza nominale di progetto $\Phi_{nom,prog}$ del corpo scaldante

$$\Phi_{nom,prog} = \Phi_{prog} \cdot \left(\frac{\theta_{m,nom} - \theta_{int}}{\theta_{m,prog} - \theta_{int}} \right)^n = \Phi_{prog} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_{nom}}{\Delta\theta_{prog}} \right)^n = \Phi_{prog} \cdot k_{corr}$$

Temperatura media desiderata	45	50	55	60	65	70
Fattore di correzione k_{corr}	2,46	1,94	1,59	1,34	1,15	1,00

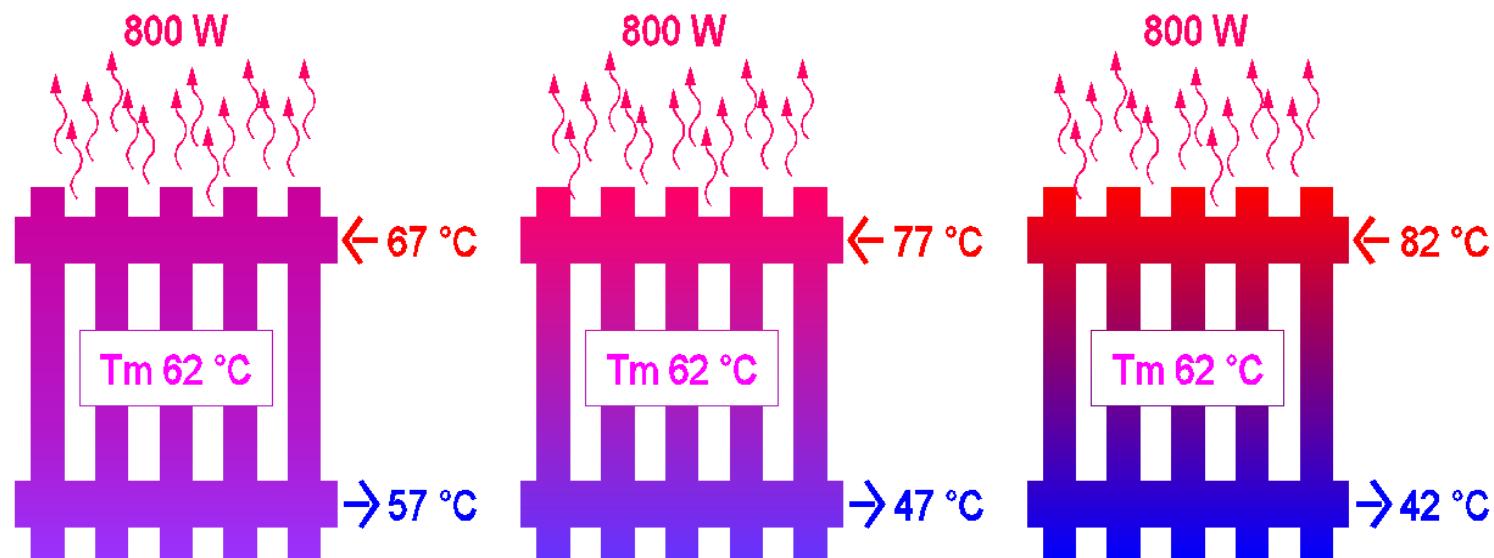
24/06/2019

Condensazione

25

Situazione media per il mese di gennaio
in caso di progettazione tradizionale
e funzionamento 14 ore al giorno.

Potenza di dimensionamento UNI 7357: 1000 W



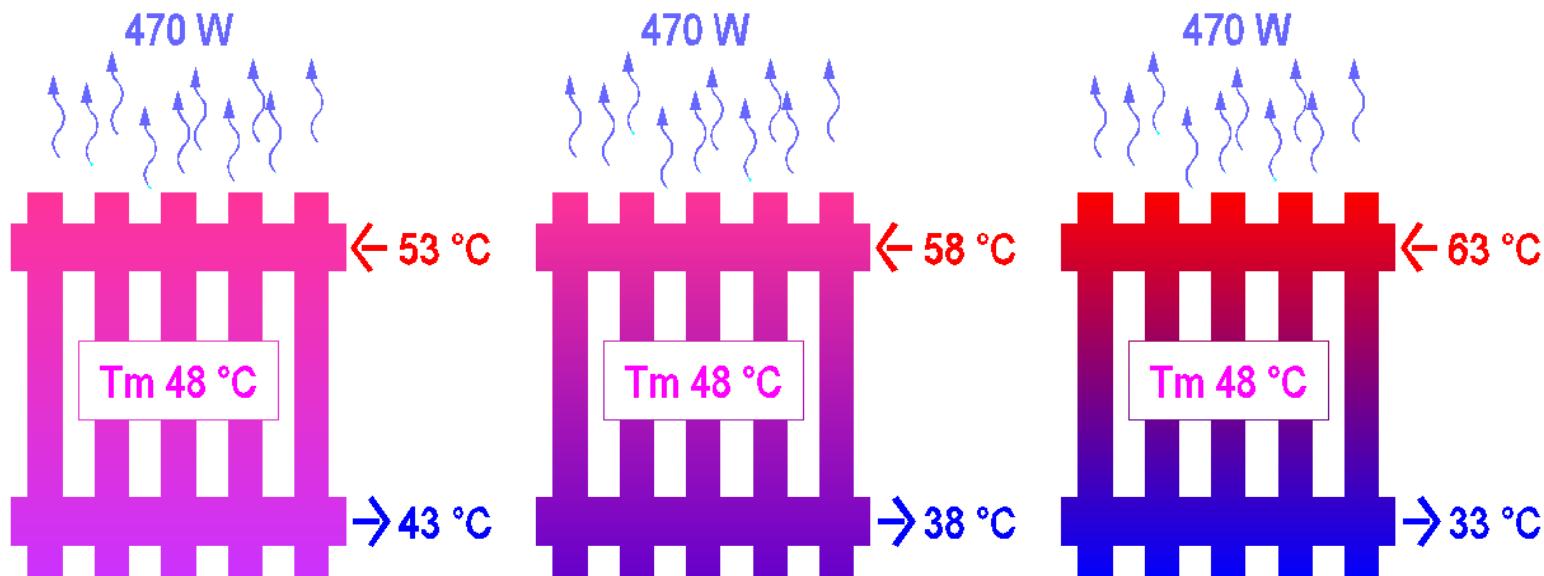
24/06/2019

Condensazione

26

Situazione media per il mese di gennaio
in caso di progettazione tradizionale
e funzionamento 24 ore al giorno.

Potenza di dimensionamento 1000 W

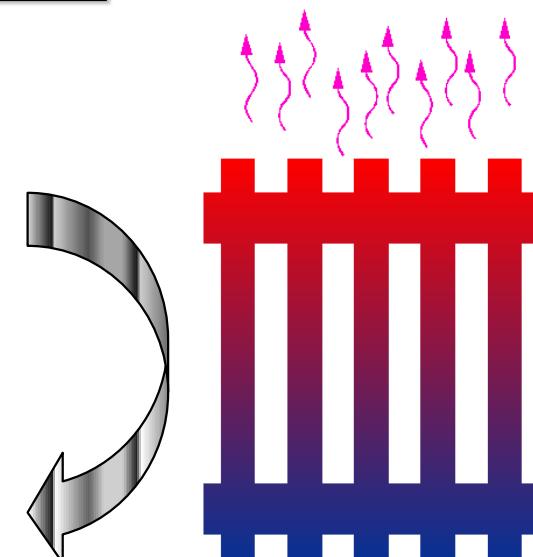
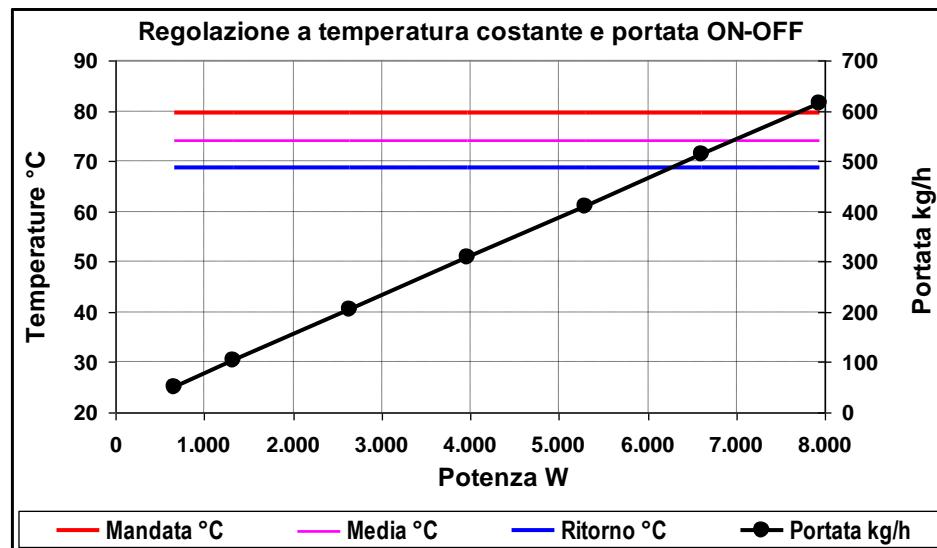


24/06/2019

Condensazione

27

Regolazione ON-OFF



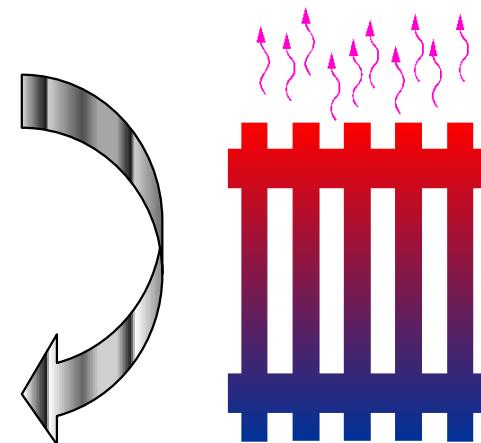
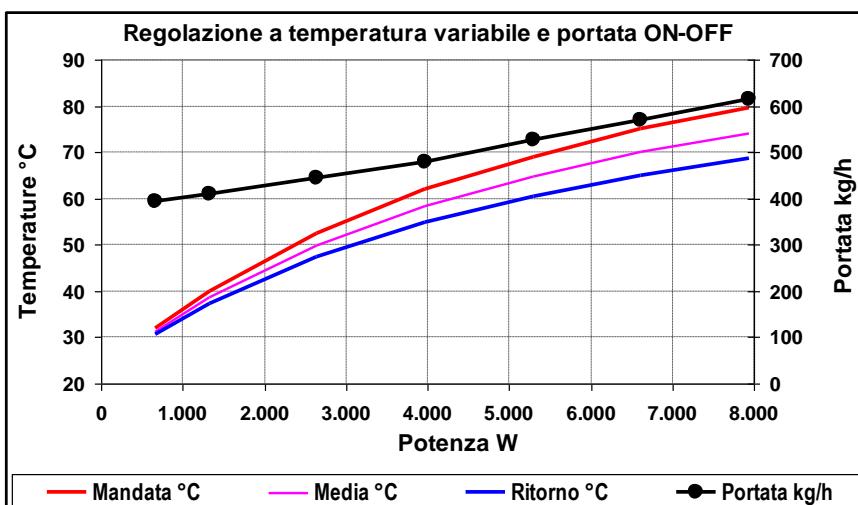
La portata è variabile "ad impulsi"
In caso di regolazione di zona, occorre ancora il
bilanciamento idraulico.

24/06/2019

Condensazione

28

Regolazione ON-OFF compensata

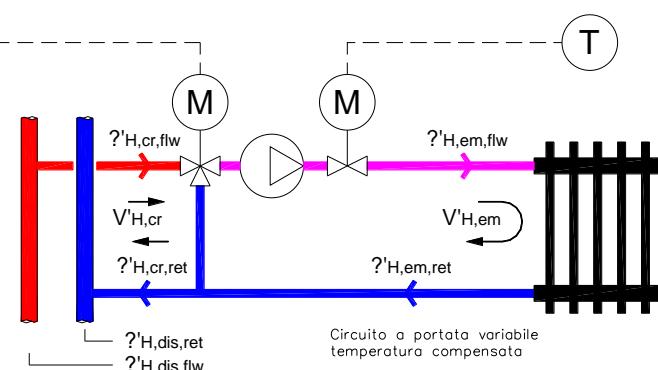


La portata è variabile “ad impulsi”
Con la compensazione climatica
si può diminuire la temperatura di ritorno
La temperatura di mandata deve essere
maggiore di quella per compensazione
climatica per dare autorità ai termostati

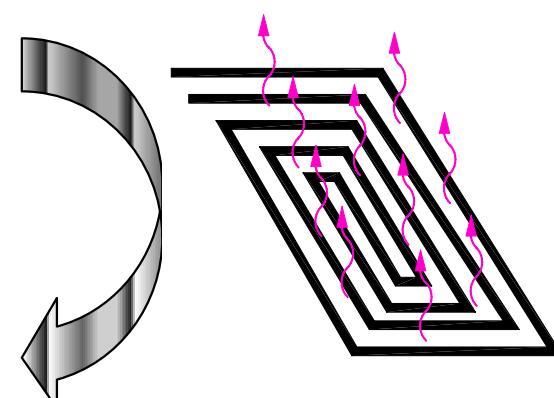
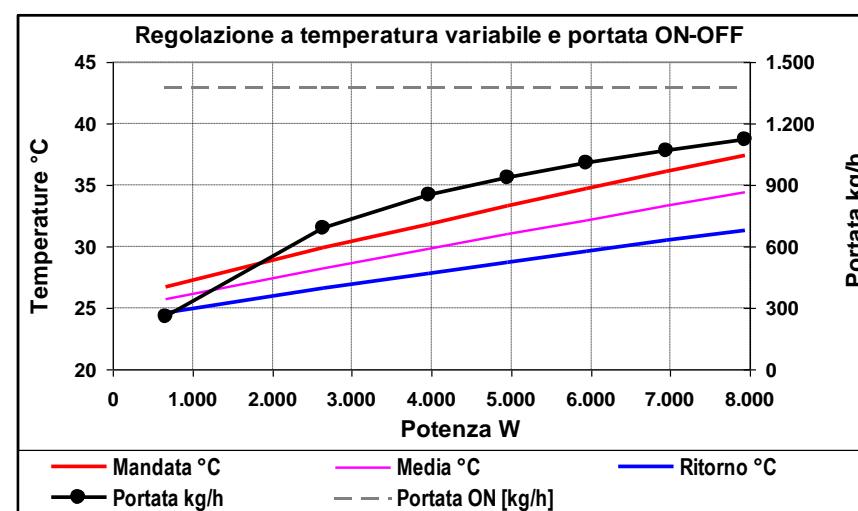
24/06/2019

Condensazione

29



Regolazione ON-OFF compensata

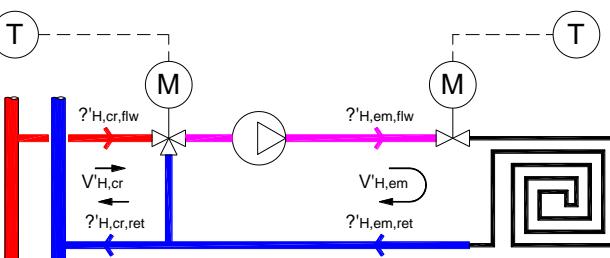


La portata è variabile “ad impulsi”
La compensazione climatica (o il punto fisso)
si usa per avere una
temperatura di mandata indipendente

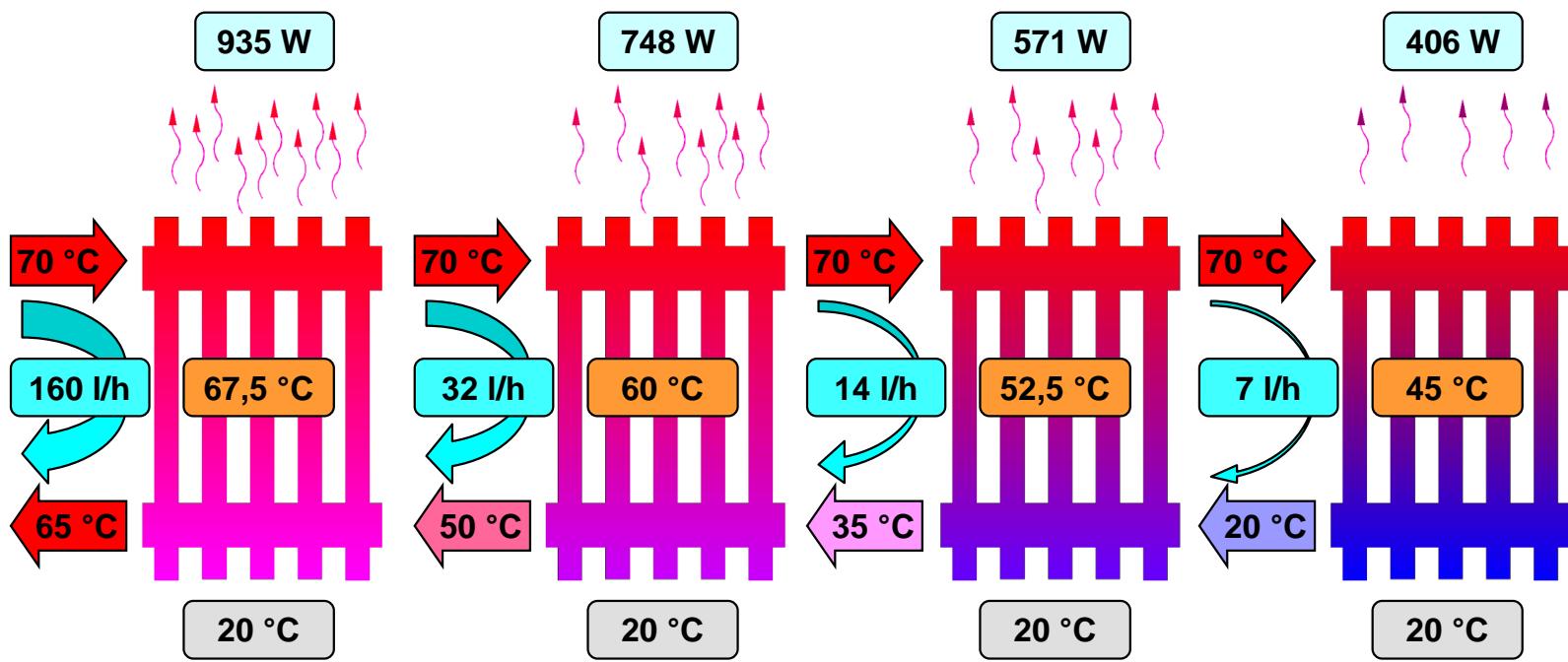
24/06/2019

Condensazione

30



Regolazione a portata variabile



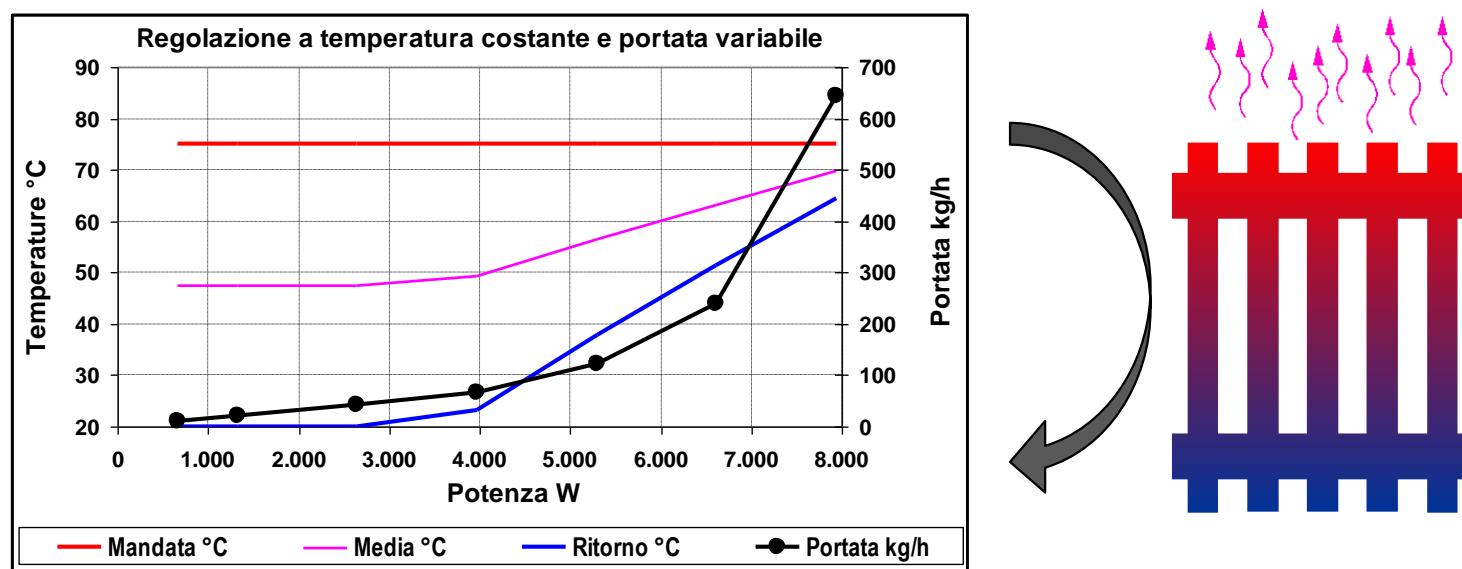
RADIATORE DA 1000 W NOMINALI

24/06/2019

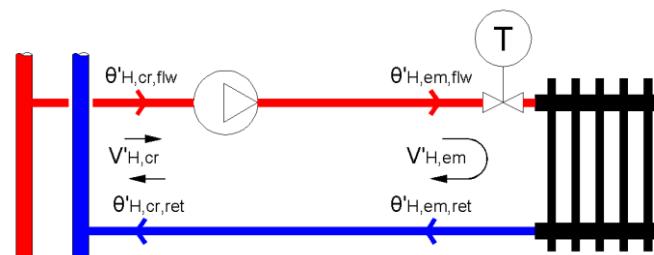
Condensazione

31

Regolazione a portata variabile



Ai bassi carichi il radiatore stratifica molto
(si "rimpicciolisce")
Calcolo vero a regime: nei transitori
le portate aumentano (avviamento)
o diminuiscono (forti apporti gratuiti)

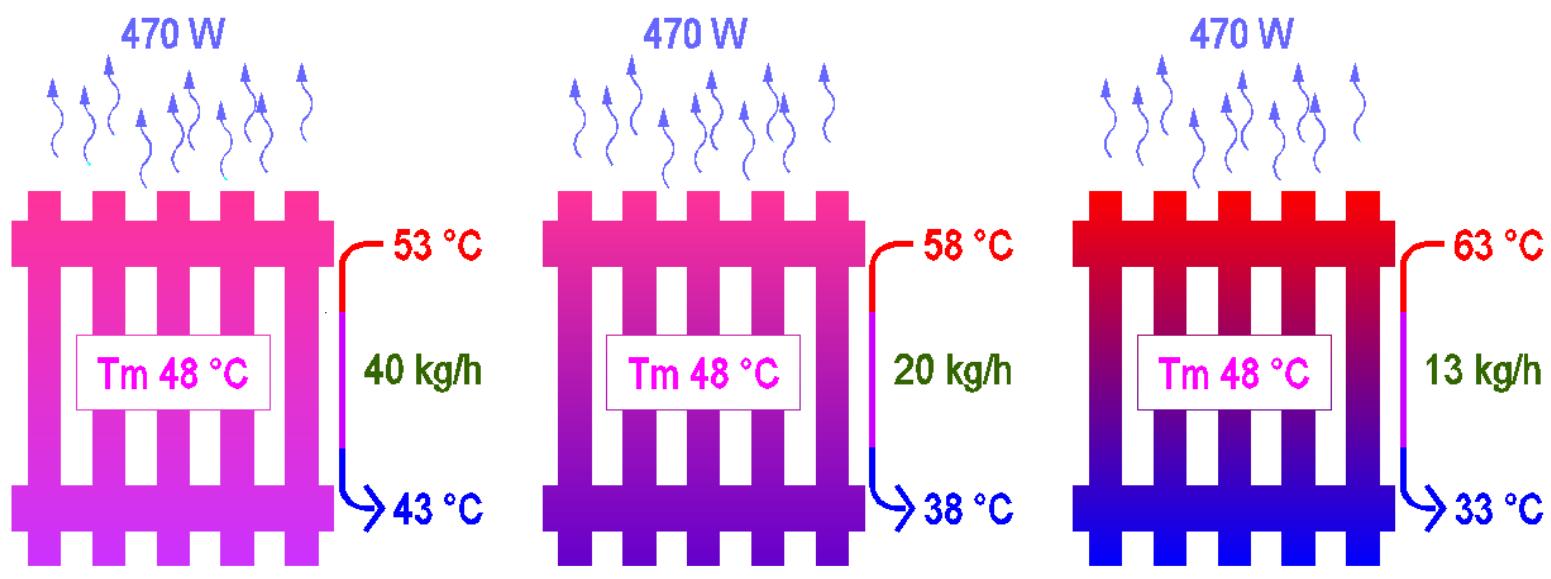


24/06/2019

Condensazione

32

Effetto della variazione della temperatura di mandata
sul ΔT e sulle portate nei radiatori
in presenza di valvole termostatiche che regolano la
temperatura media del radiatore

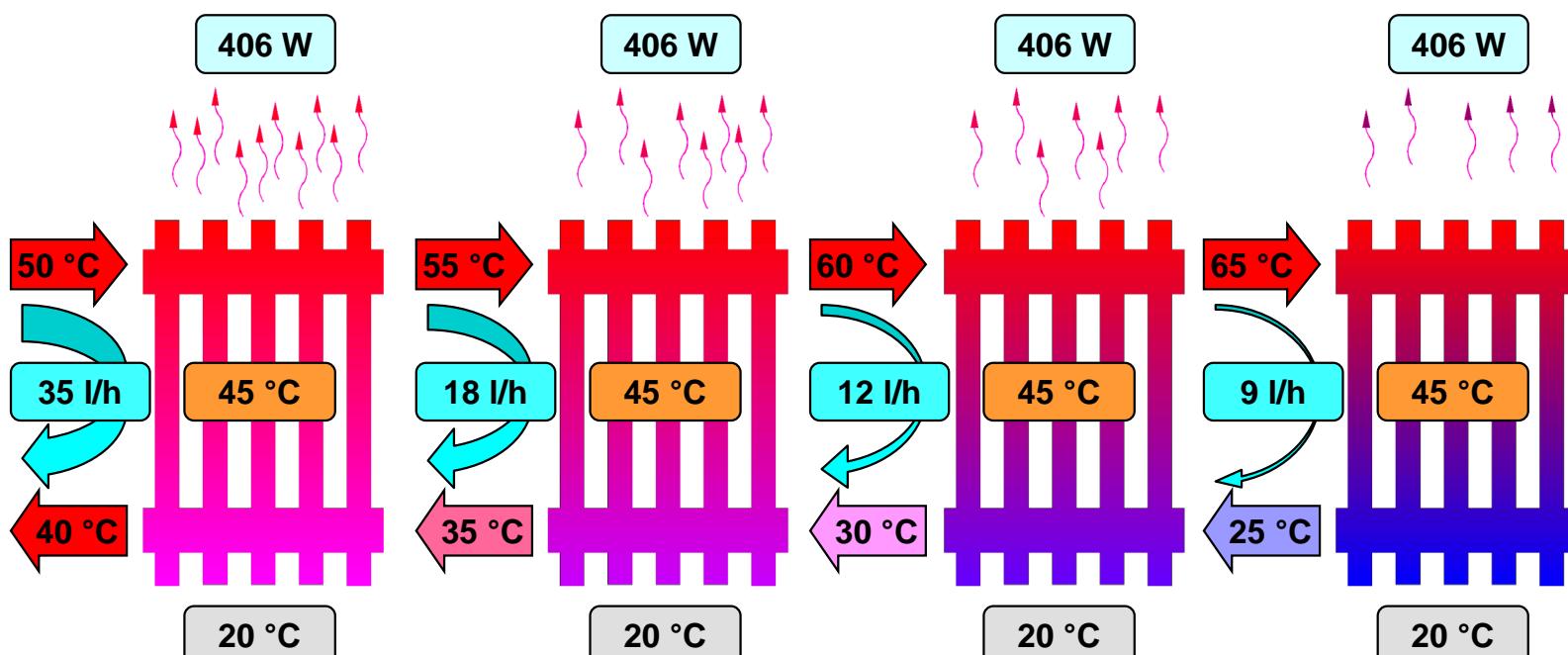


24/06/2019

Condensazione

33

Effetto della variazione di temperatura



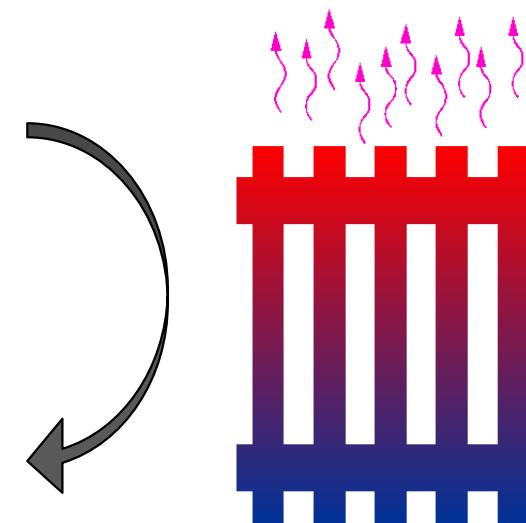
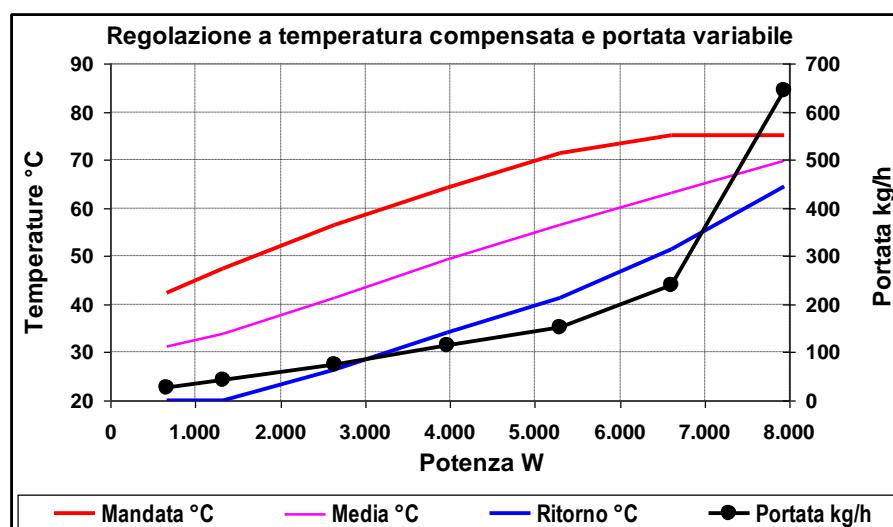
In presenza di regolazione per singolo corpo scaldante agente sulla portata
(valvole termostatiche), una variazione della temperatura di mandata provoca solo
un cambiamento delle portate (entro il limite idraulico di massima portata).

24/06/2019

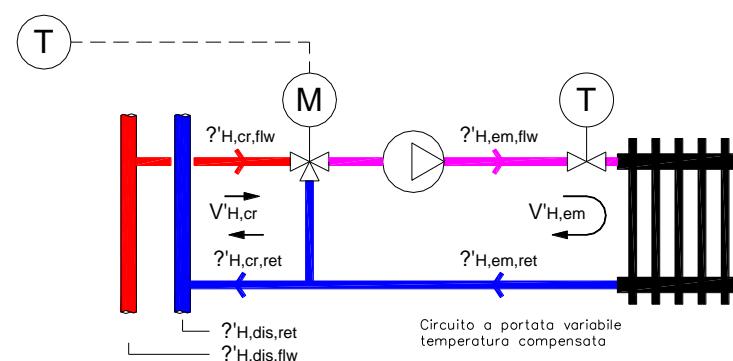
Condensazione

34

Regolazione a portata variabile con temperatura compensata



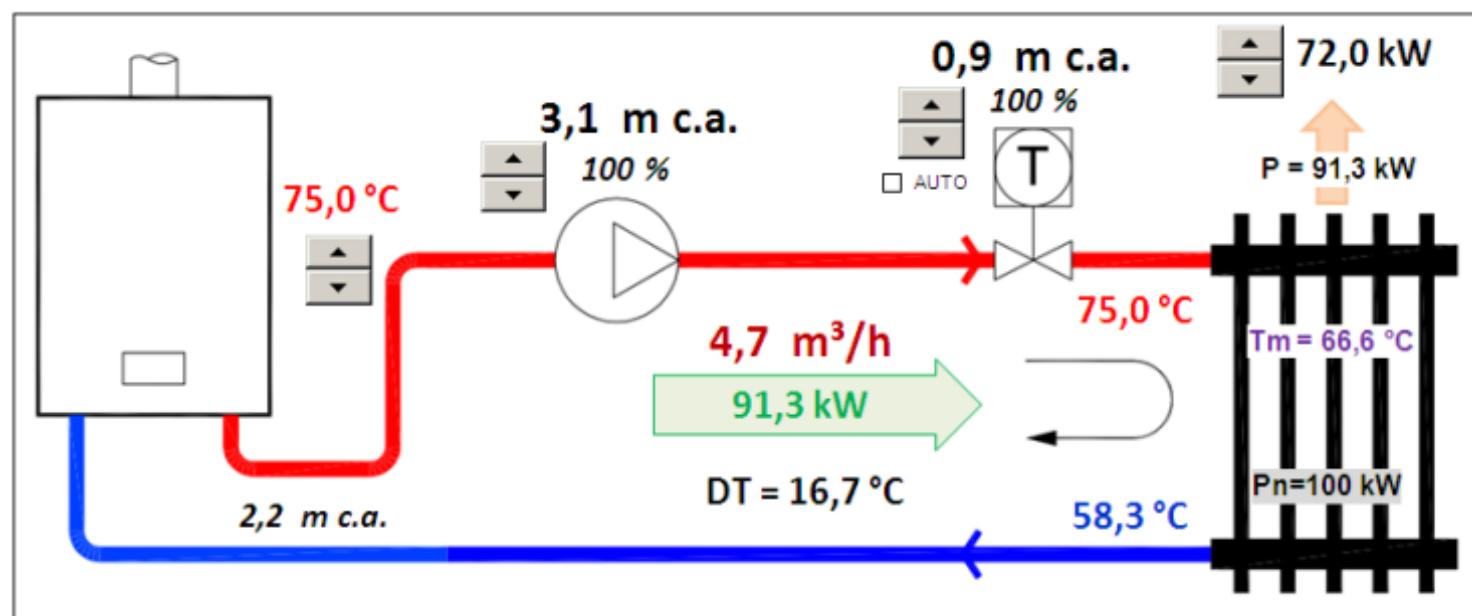
Ai carichi elevati, il limite di temperatura di mandata causa un aumento della portata
Calcolo vero a regime: nei transitori
le portate aumentano (avviamento)
o diminuiscono (forti apporti gratuiti)



24/06/2019

Condensazione

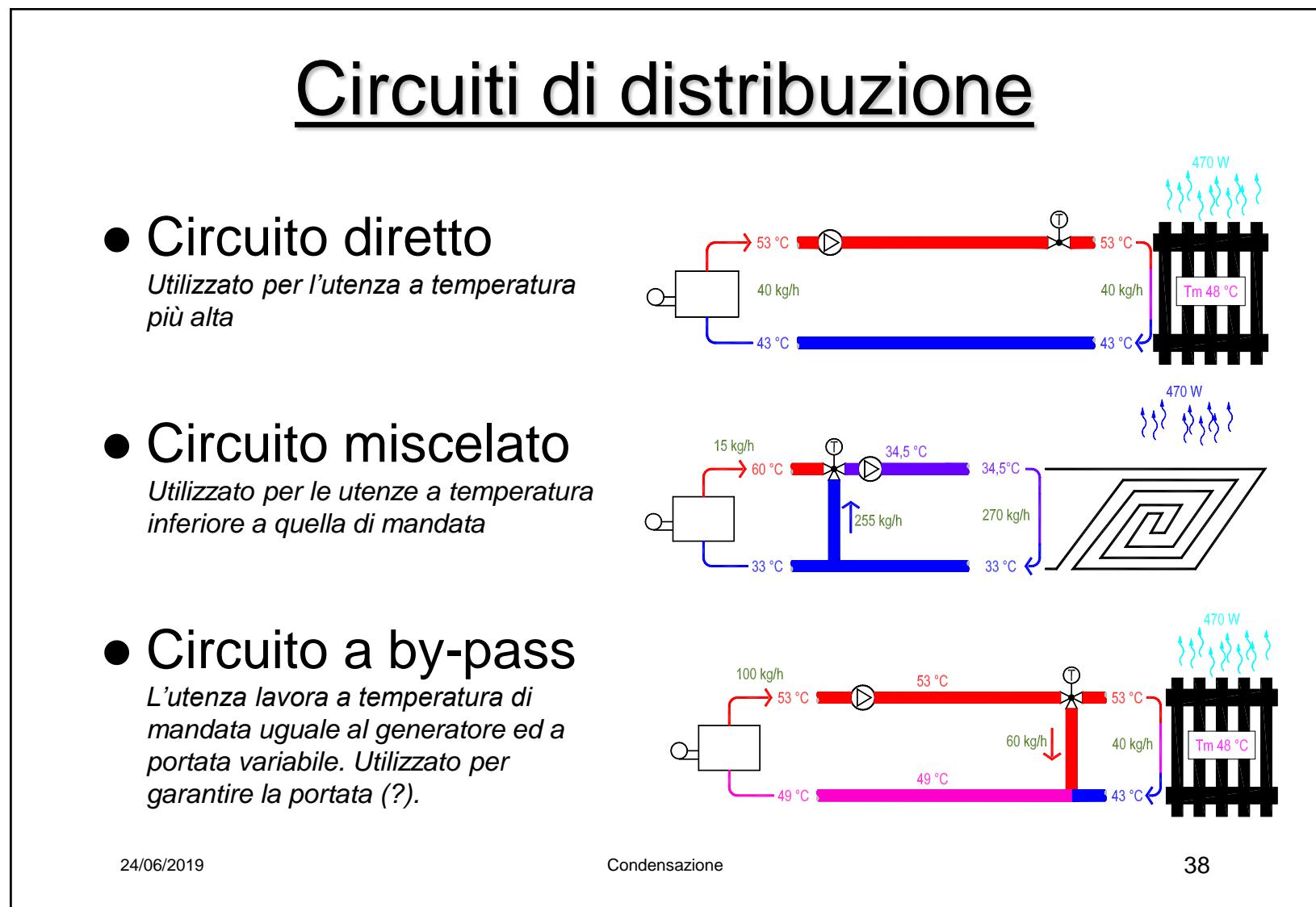
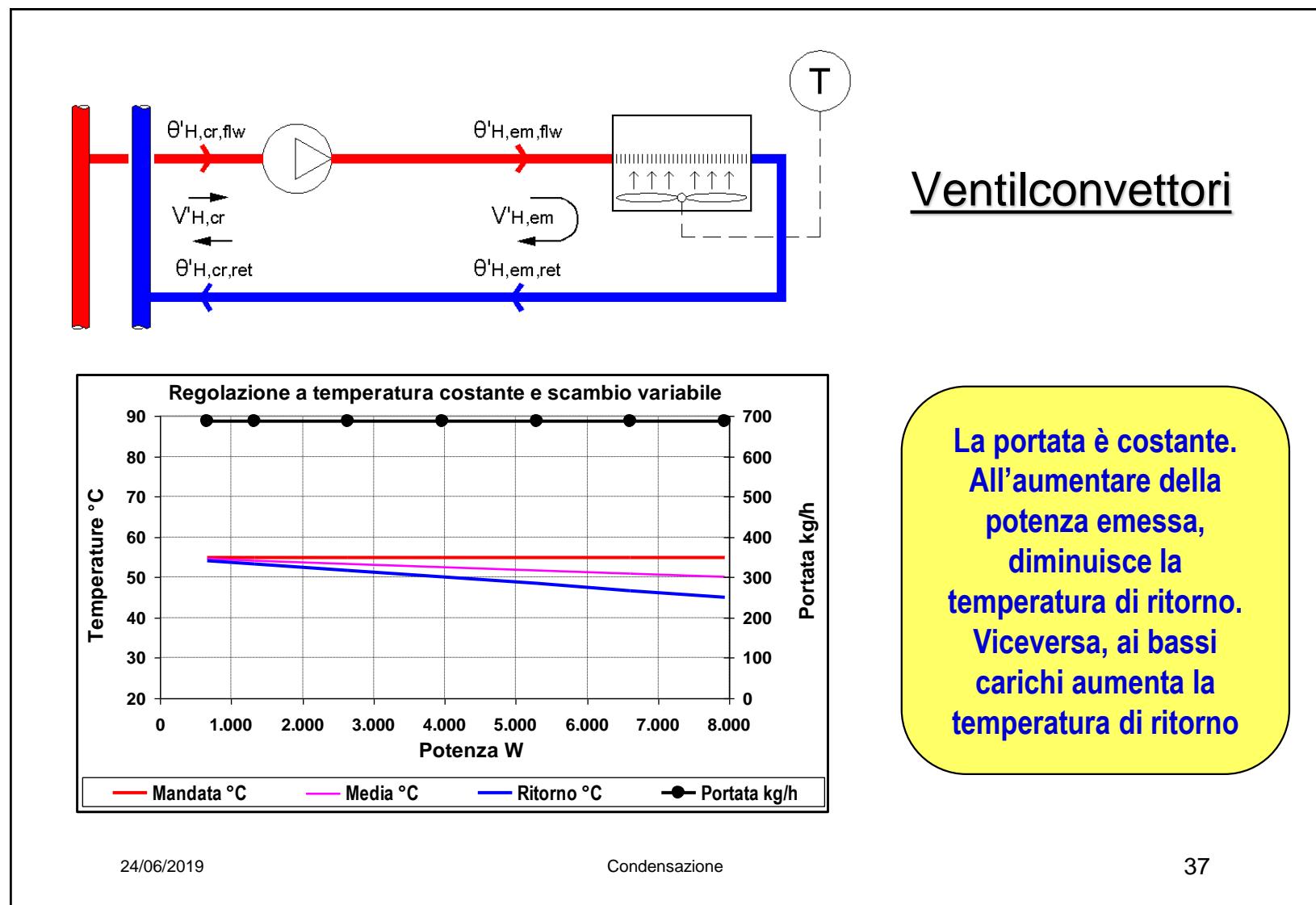
35



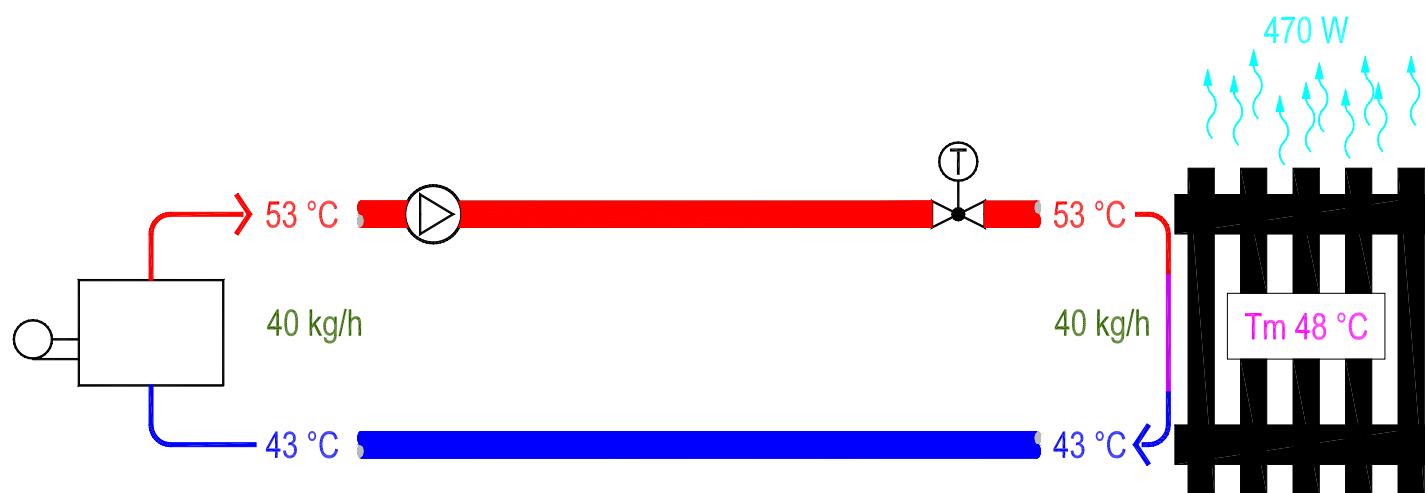
24/06/2019

Condensazione

36



Circuito di distribuzione diretto.
Le temperature agli emettitori ed al collettore di distribuzione sono identiche



:green hand icon: Condensazione OK

:red hand icon: Possibile 1 sola temperatura di mandata per tutte le utenze

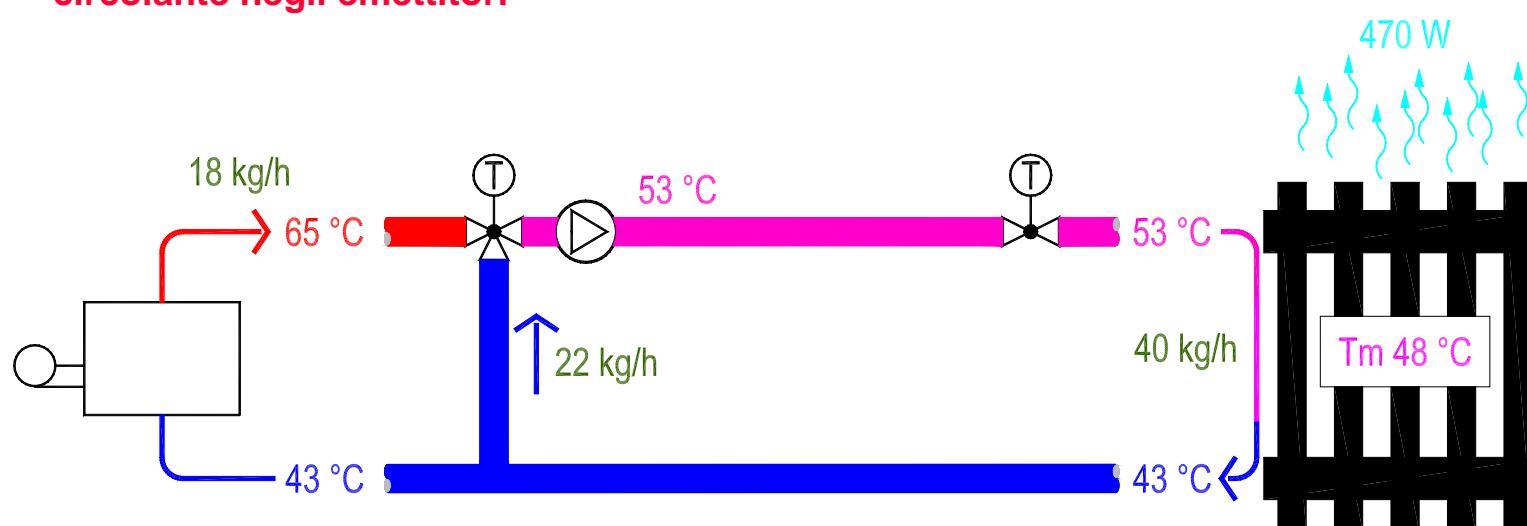
24/06/2019

Condensazione

39

Circuito di distribuzione a miscelazione

- La temperatura di mandata agli emettitori è inferiore alla temperatura di mandata dal collettore
- CONDENSAZIONE OK: la temperatura di ritorno al collettore è uguale alla temperatura di ritorno dagli emettitori
- CALDAIA KO: la portata prelevata dal collettore è inferiore alla portata circolante negli emettitori



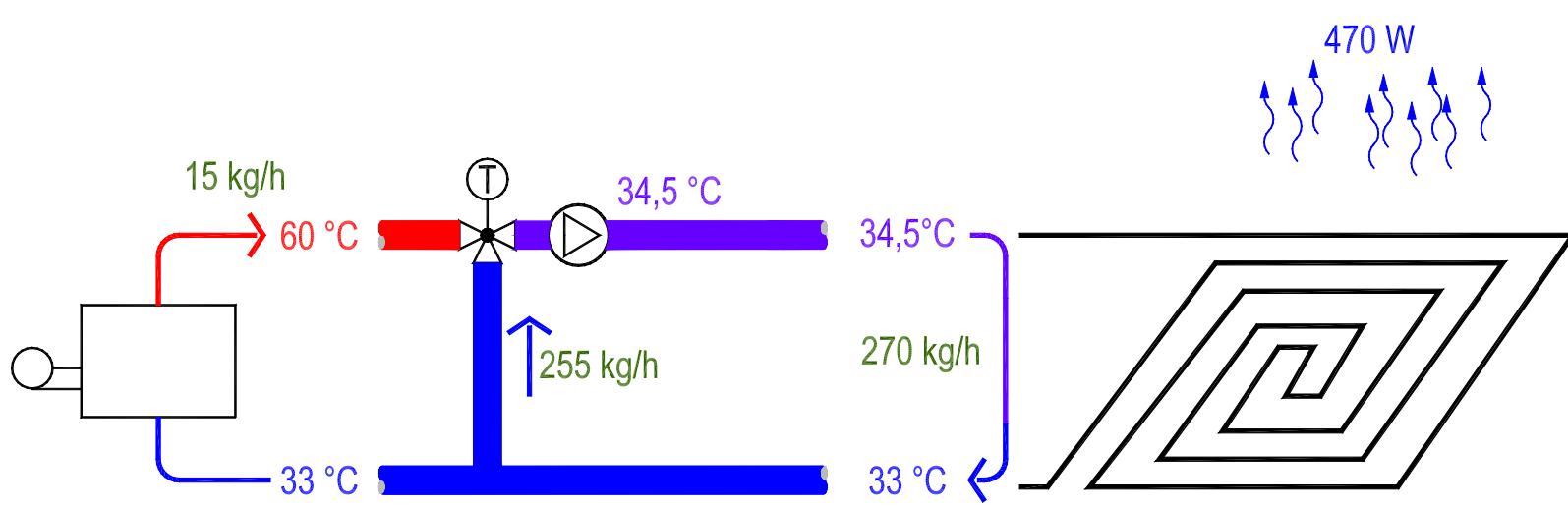
24/06/2019

Condensazione

40

Circuito di distribuzione a miscelazione, pannelli

Quando si interpone una valvola miscelatrice sull'alimentazione di un pannello, come carico per il generatore non c'è più alcuna differenza rispetto ad un radiatore. Anzi il ΔT è sicuramente elevato.
Caso tipico: utenze miste a bassa ed alta temperatura (pannelli + scaldasalviette in bagno o acqua calda sanitaria)



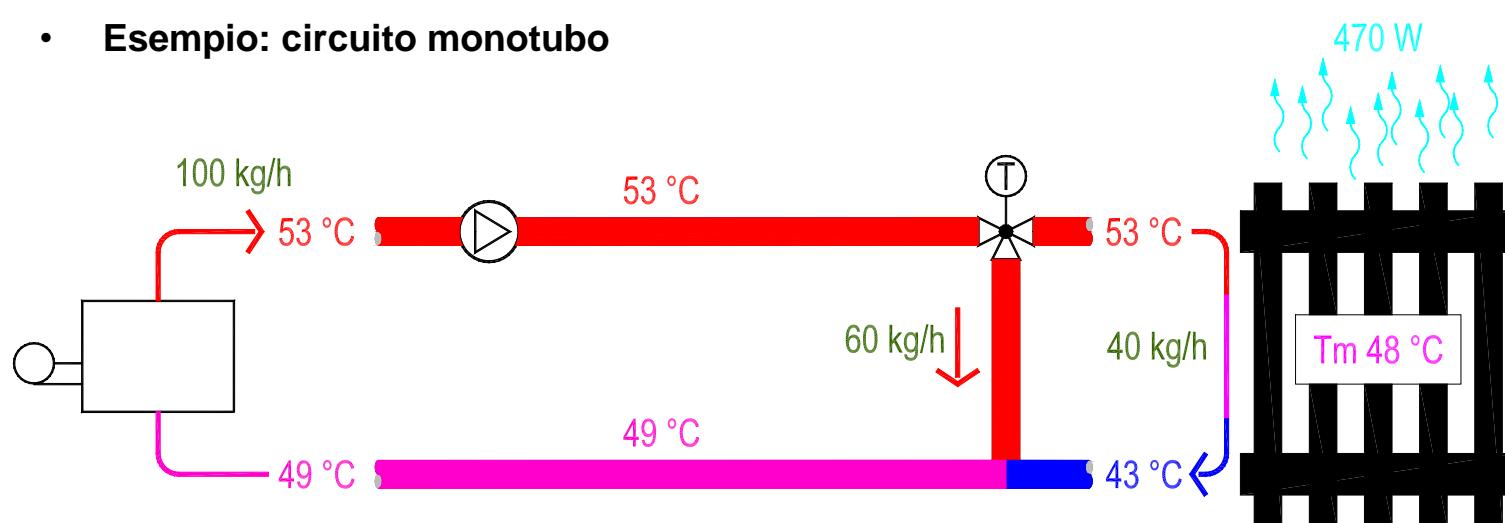
24/06/2019

Condensazione

41

Circuito di distribuzione a by-pass

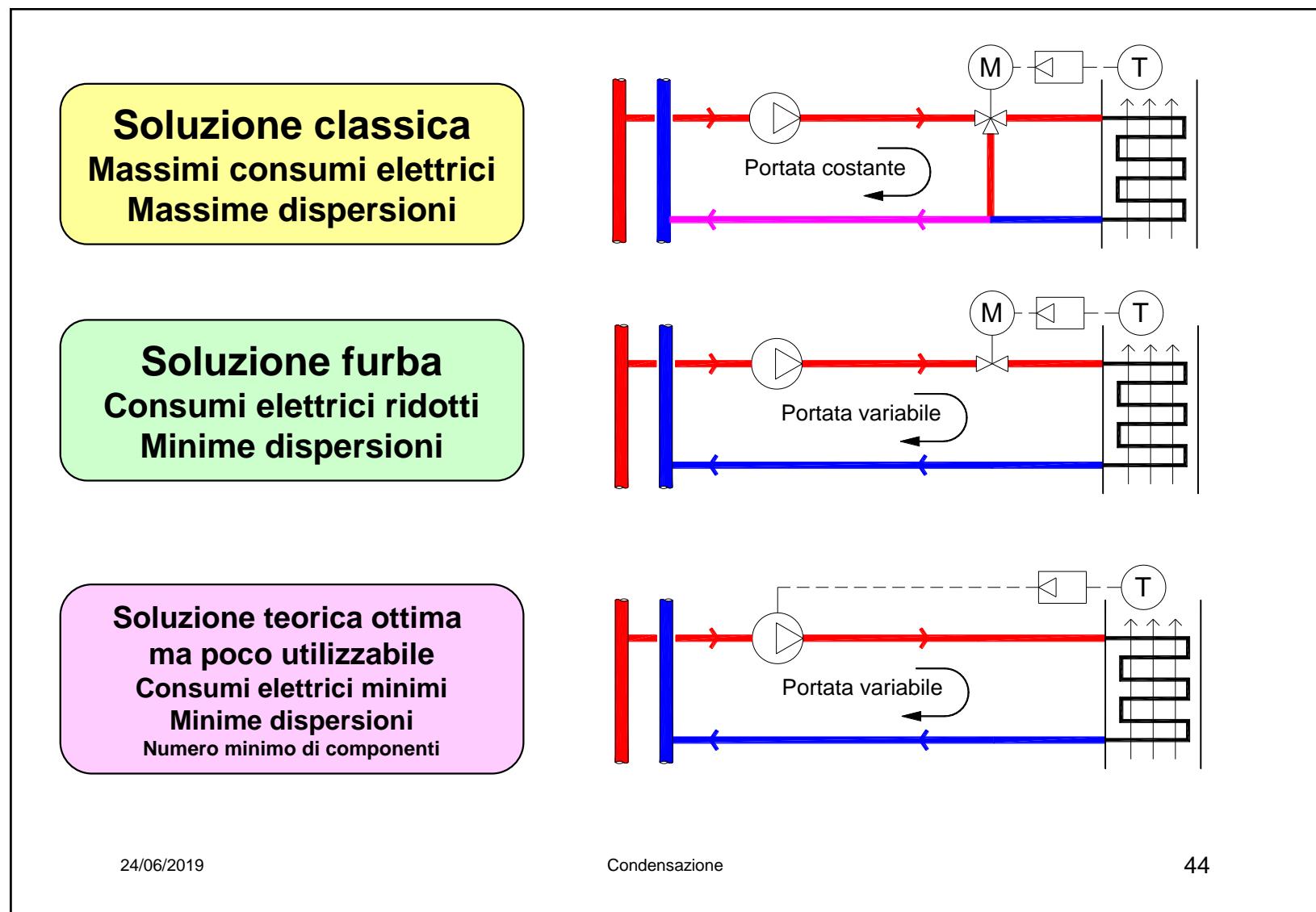
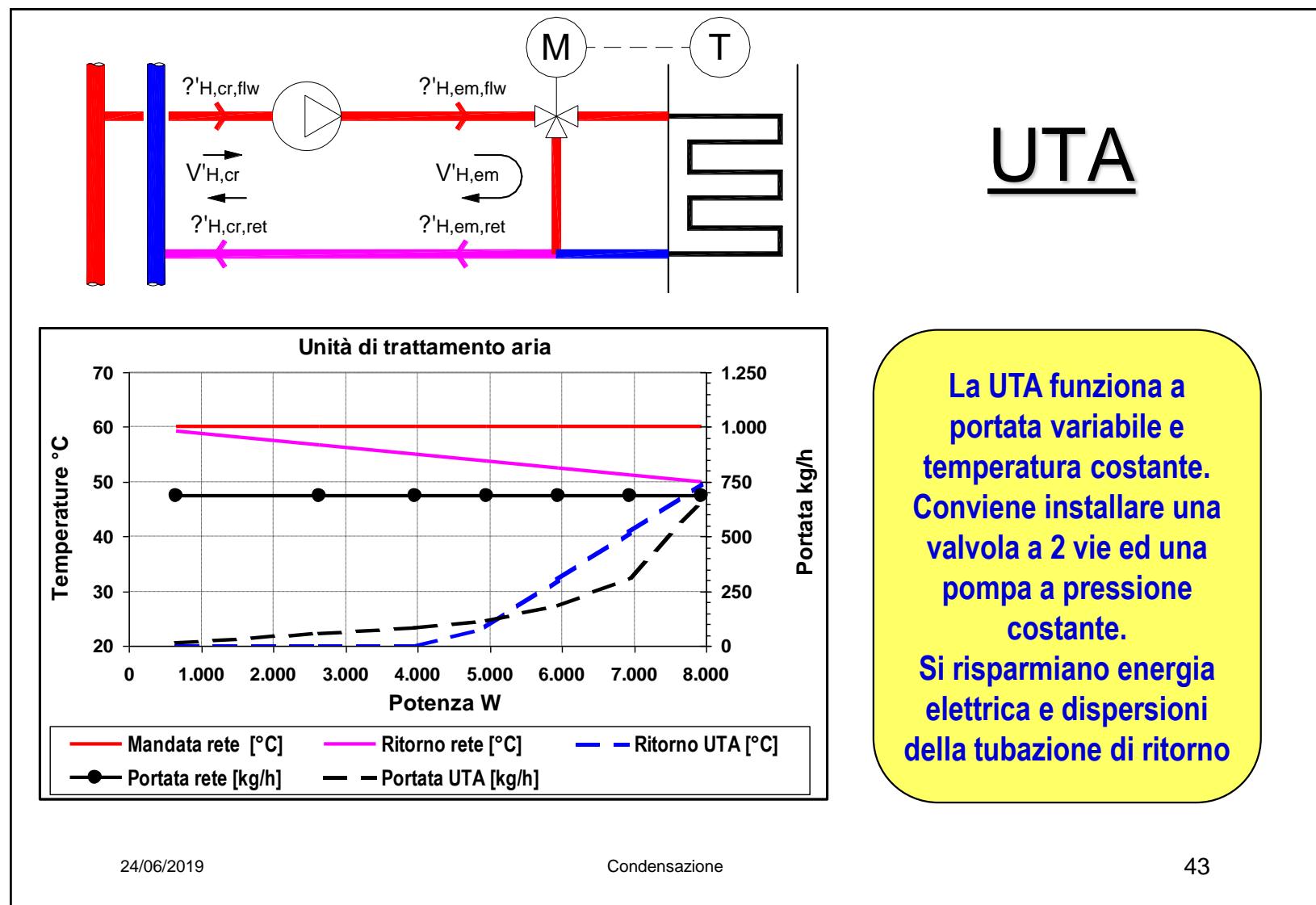
- La temperatura di mandata agli emettitori è uguale alla temperatura di mandata dal collettore
- CONDENSAZIONE KO: La temperatura di ritorno al collettore è maggiore della temperatura di ritorno dagli emettitori
- CALDAIA OK: La portata prelevata dal collettore è superiore alla portata circolante negli emettitori
- Esempio: circuito monotubo



24/06/2019

Condensazione

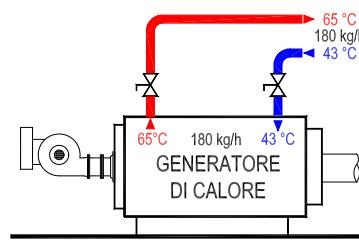
42



Circuiti di generazione

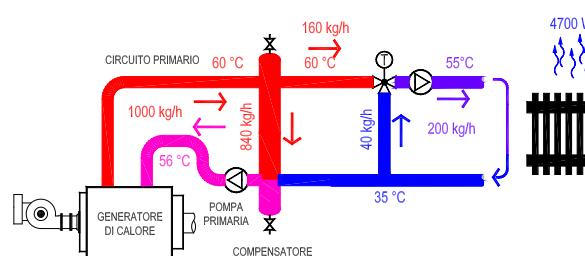
- **Circuito diretto**

Portata e temperatura nel generatore e nell'impianto sono uguali



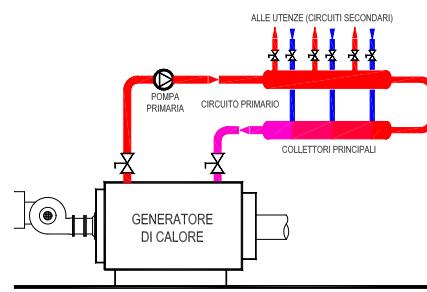
- **Compensatore idraulico**

Le portate e nel generatore e nell'impianto sono indipendenti
Le temperature dipendono dalle portate relative



- **Anello primario**

Come con compensatore idraulico ma portata nell'anello primario sempre più alta rispetto all'impianto



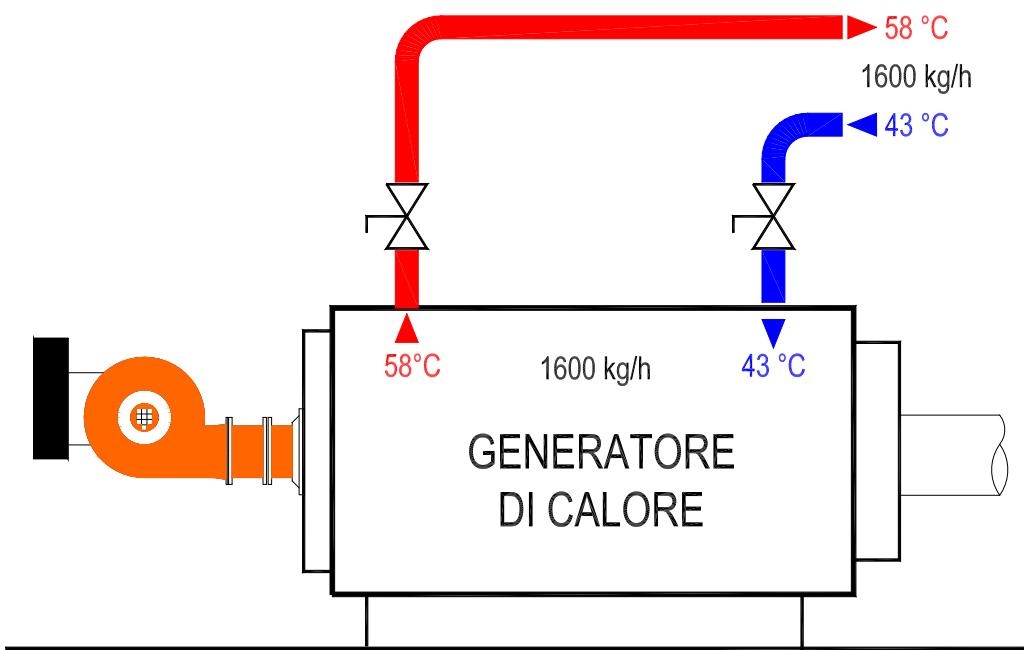
24/06/2019

Condensazione

45

Circuito di generazione diretto

- **CONDENSAZIONE OK:** Temperatura e portata sono le stesse di quelle prelevate al collettore dai circuiti di distribuzione collegati



24/06/2019

Condensazione

46

Generatore con portata indipendente

- **Portata generatore**

- Se indipendente → dato di progetto (circuito primario)
- Con anticondensa → portata utenza + portata pompa

- **ΔT generatore** = potenza erogata / portata

- Se portata generatore > portata utenze

- T manda generatore = T manda utenza
- T ritorno generatore = T manda – ΔT generatore

- Se portata generatore < portata utenze

- T ritorno generatore = T ritorno utenza
- T manda generatore = T ritorno + ΔT generatore

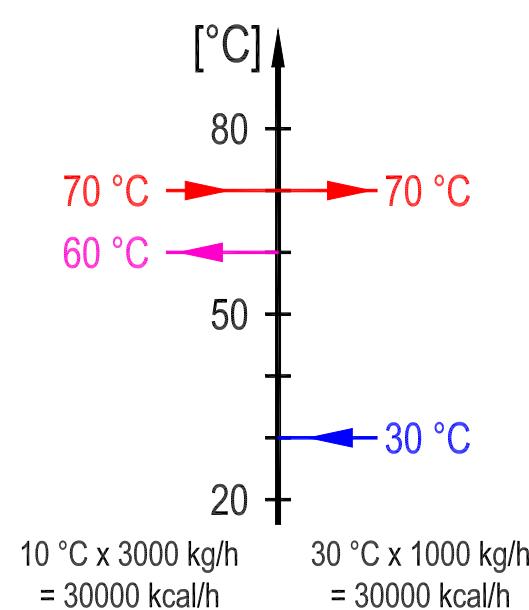
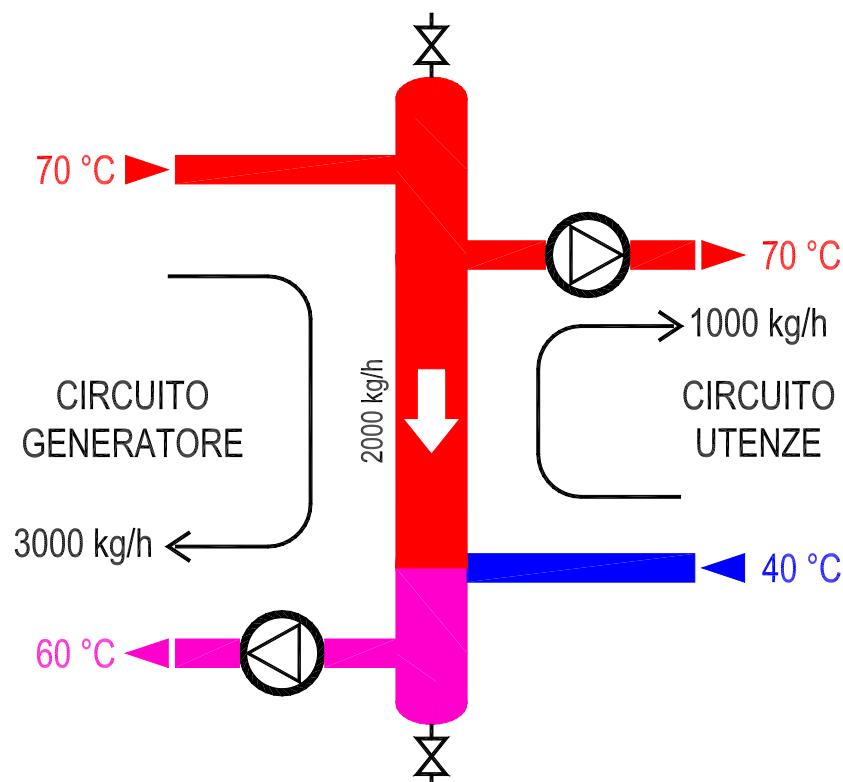


24/06/2019

Condensazione

47

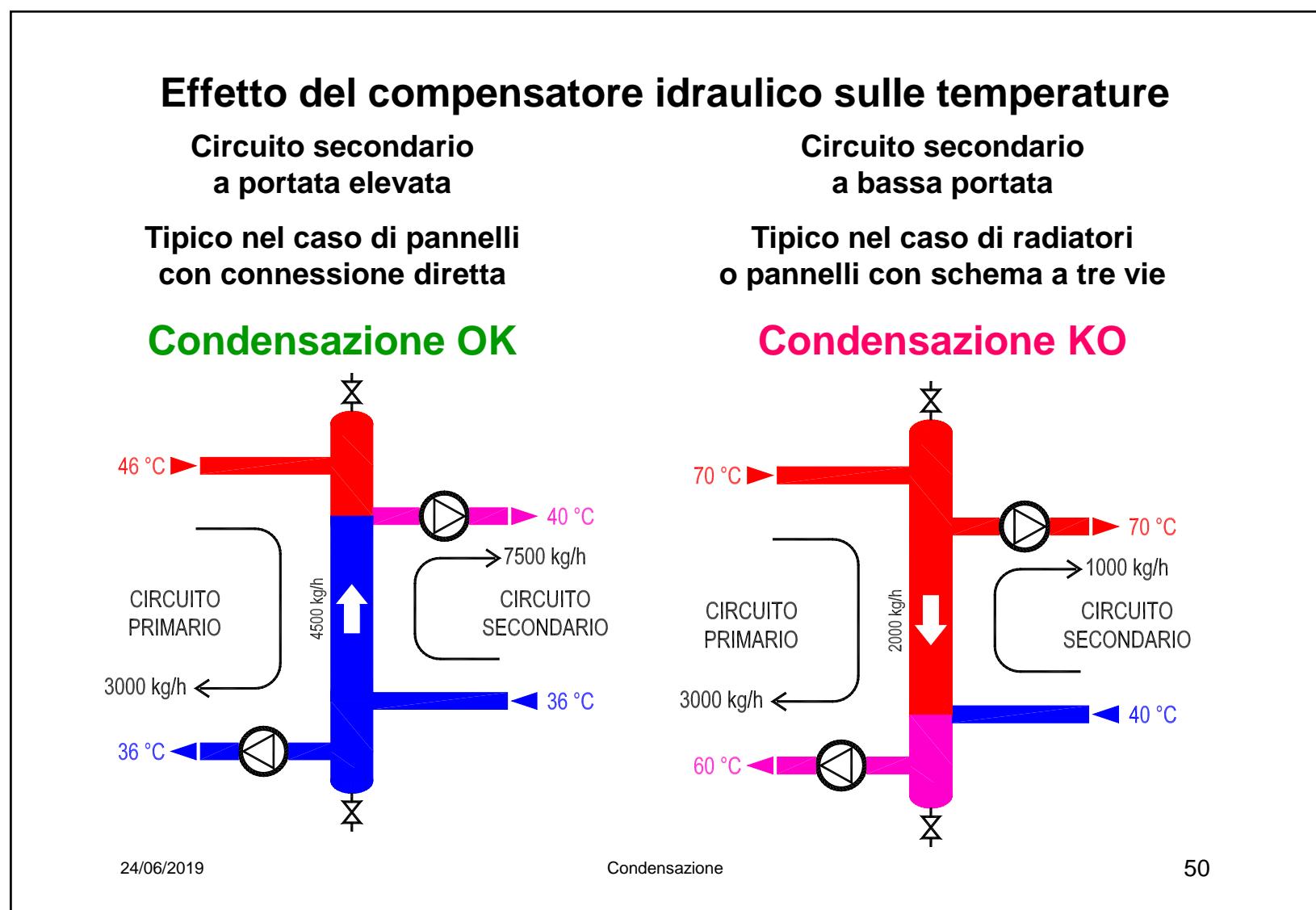
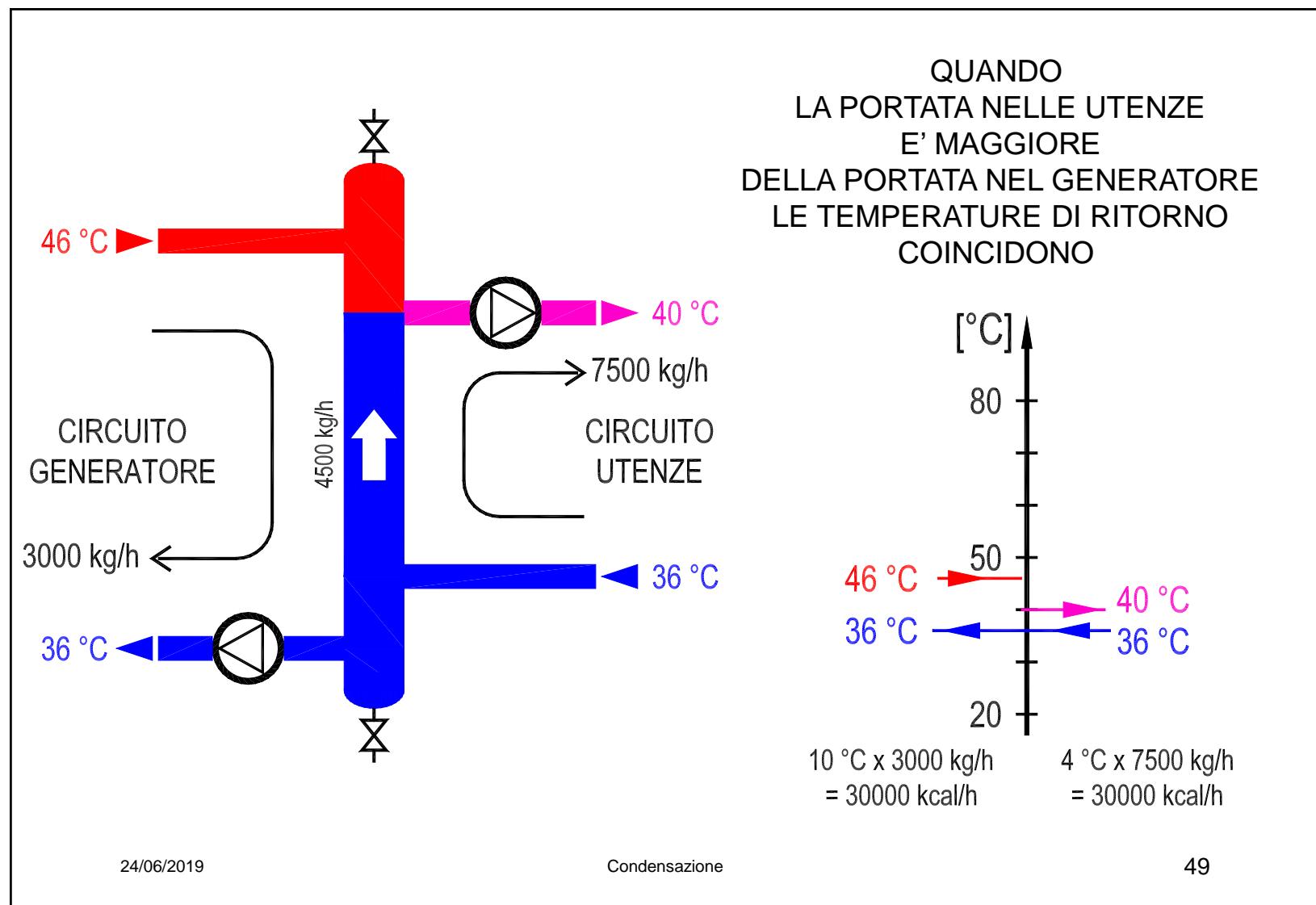
QUANDO
LA PORTATA NEL GENERATORE
E' MAGGIORE
DELLA PORTATA NELLE UTENZE
LE TEMPERATURE DI MANDATA
COINCIDONO

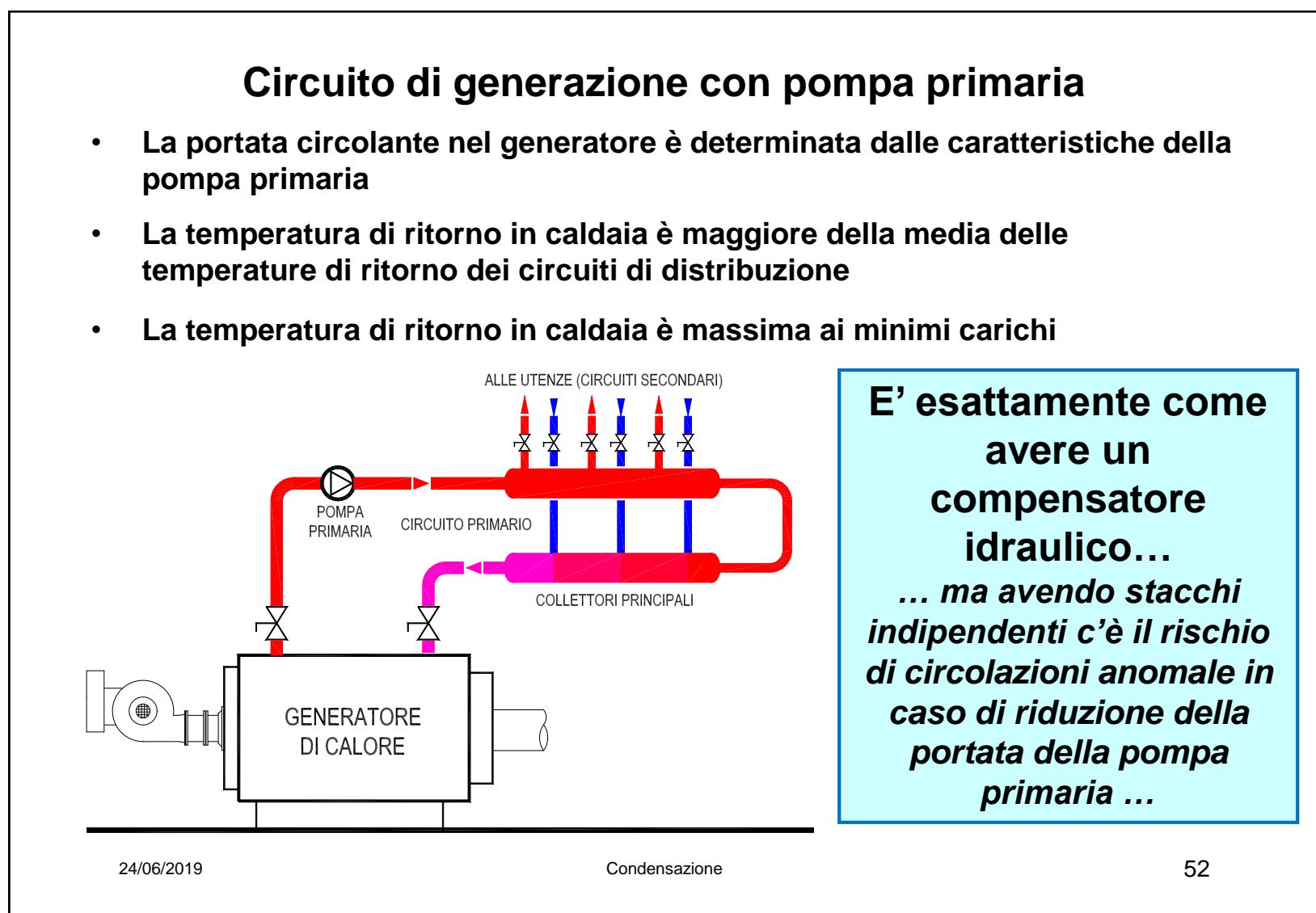
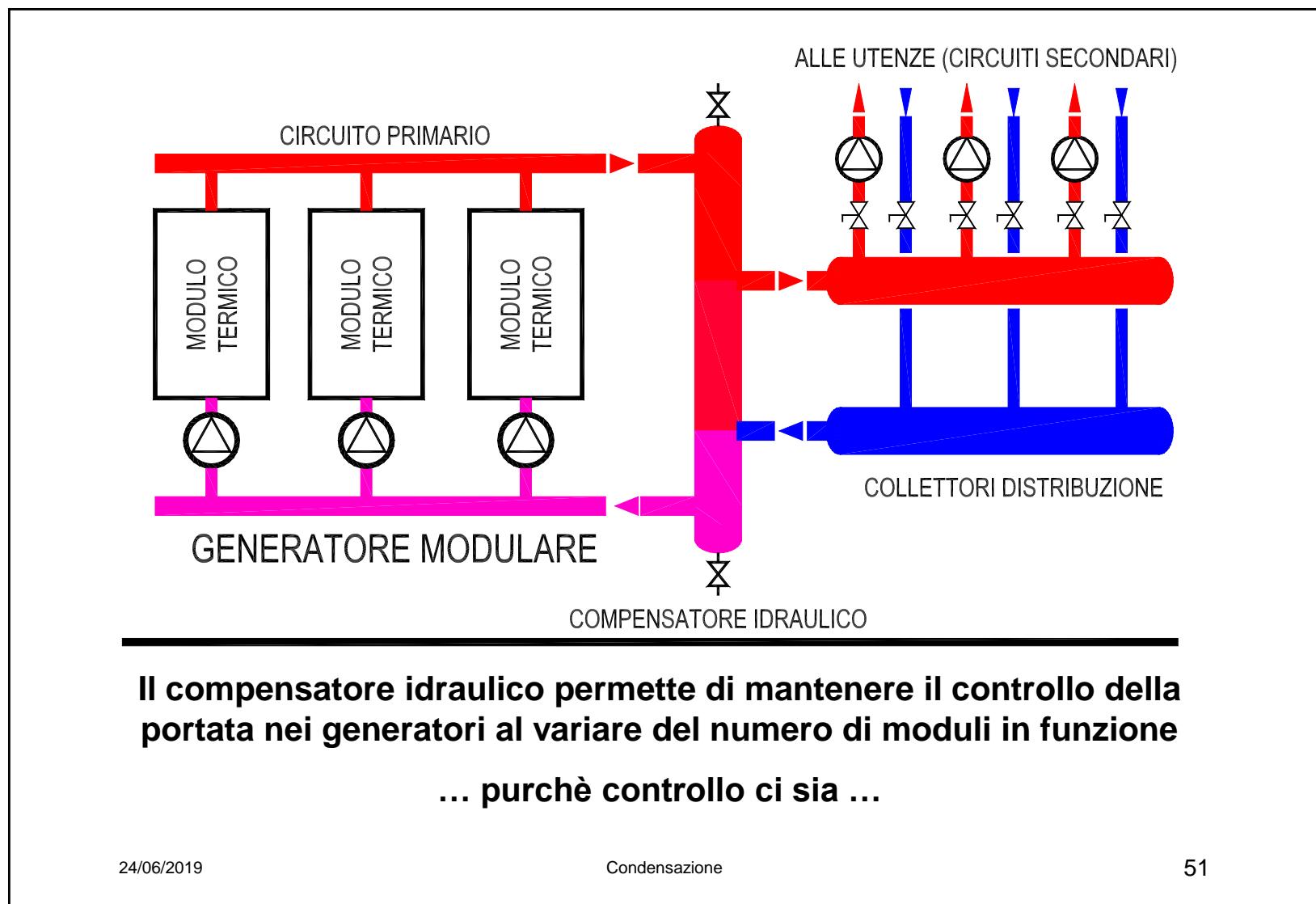


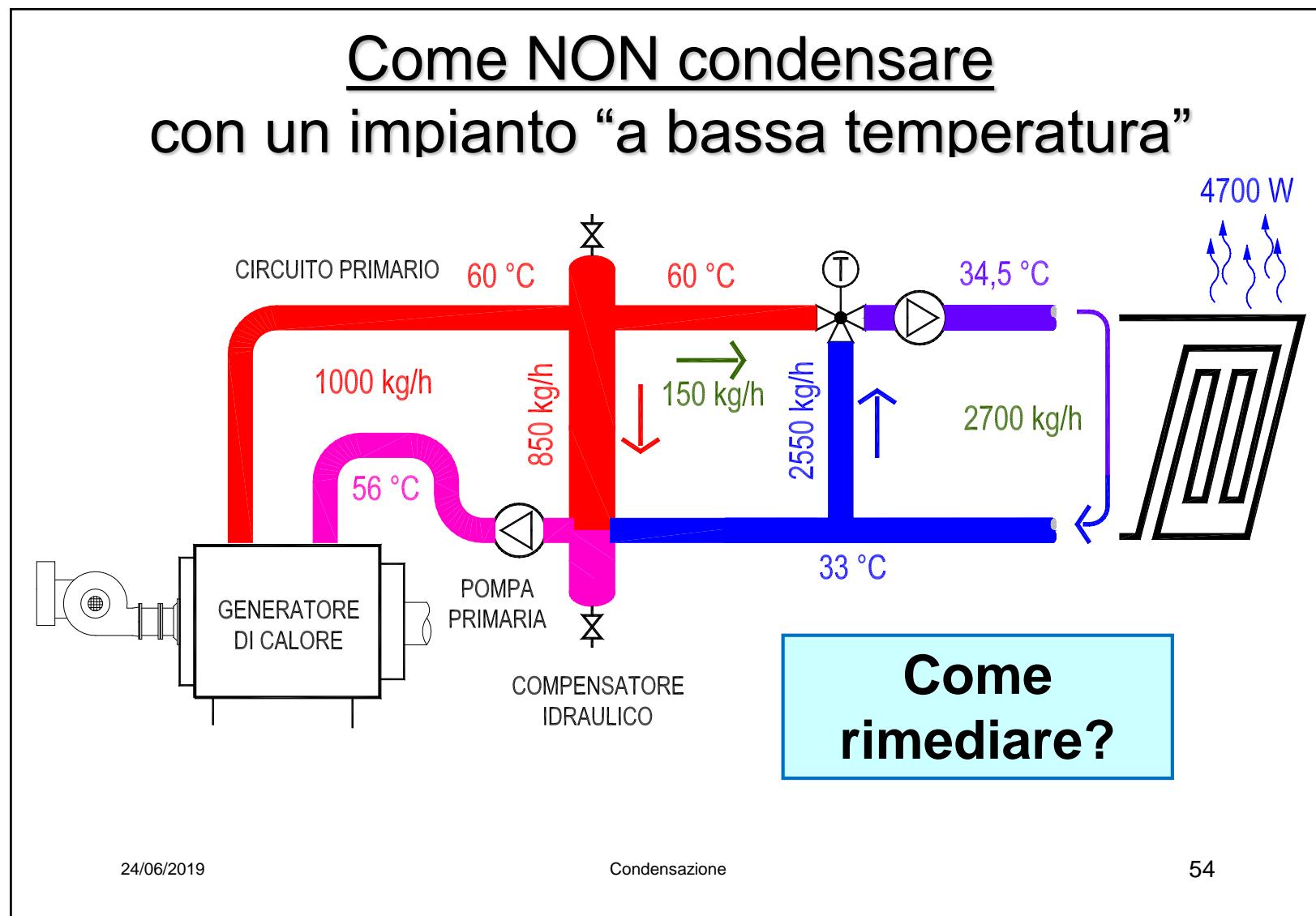
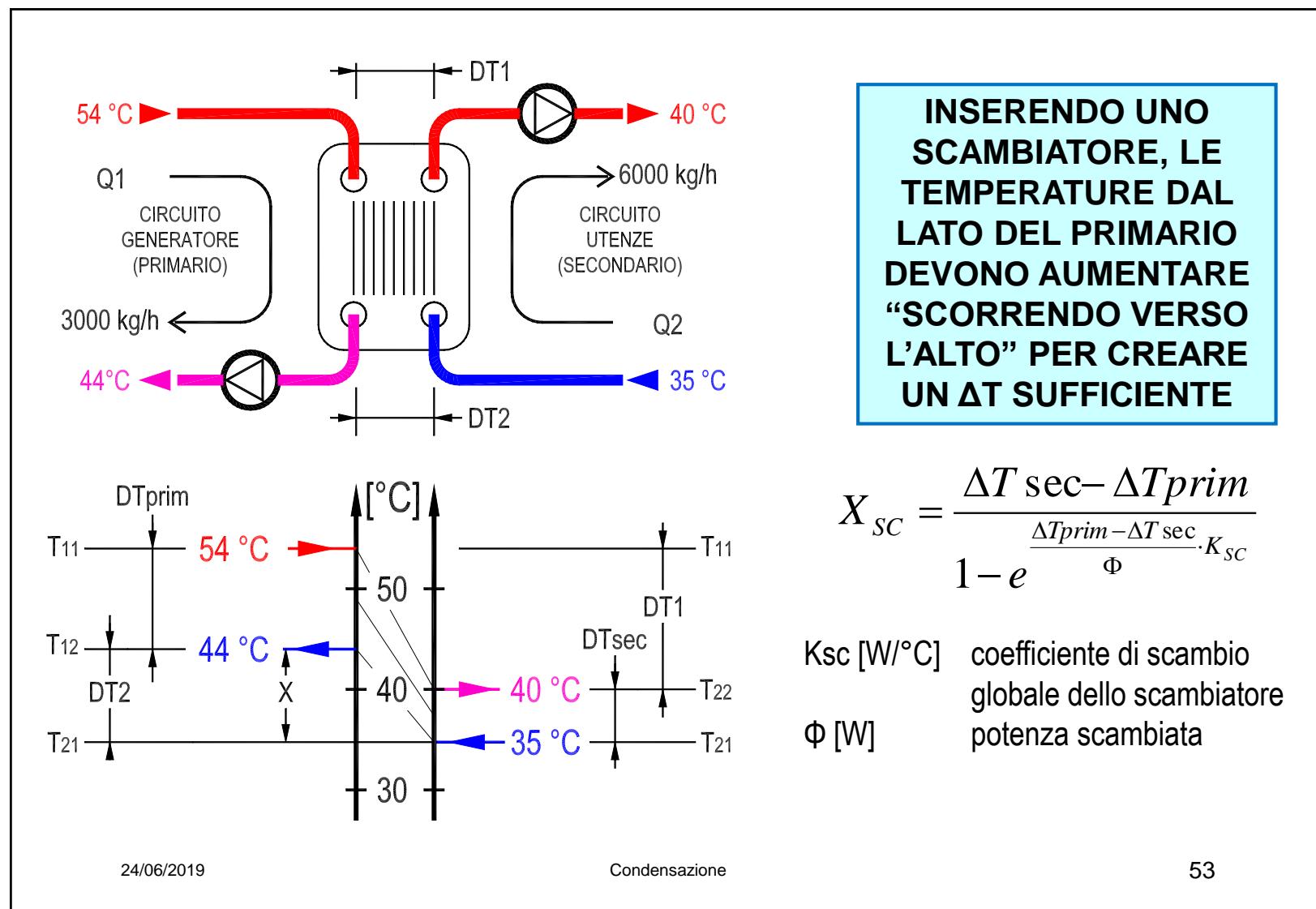
24/06/2019

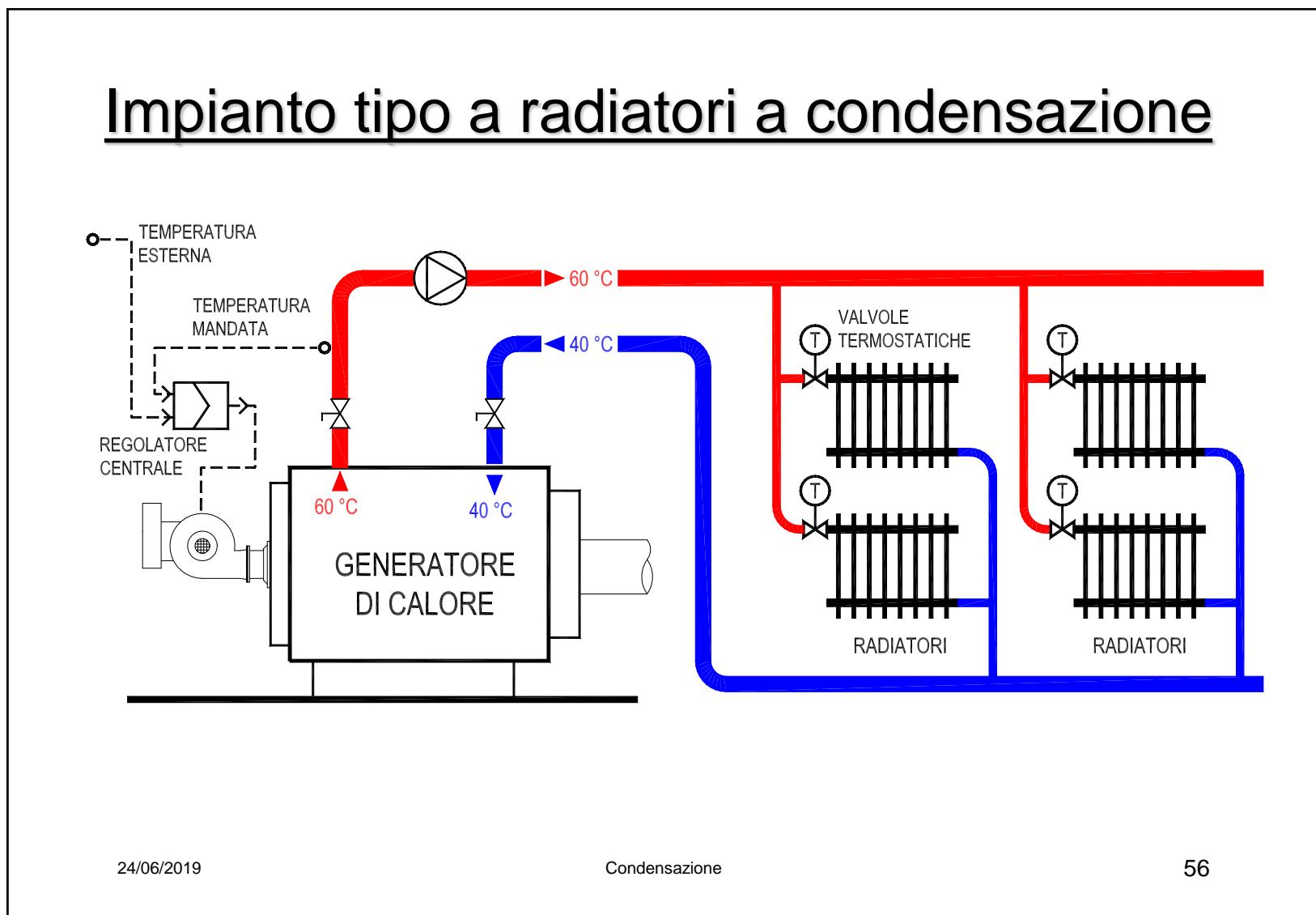
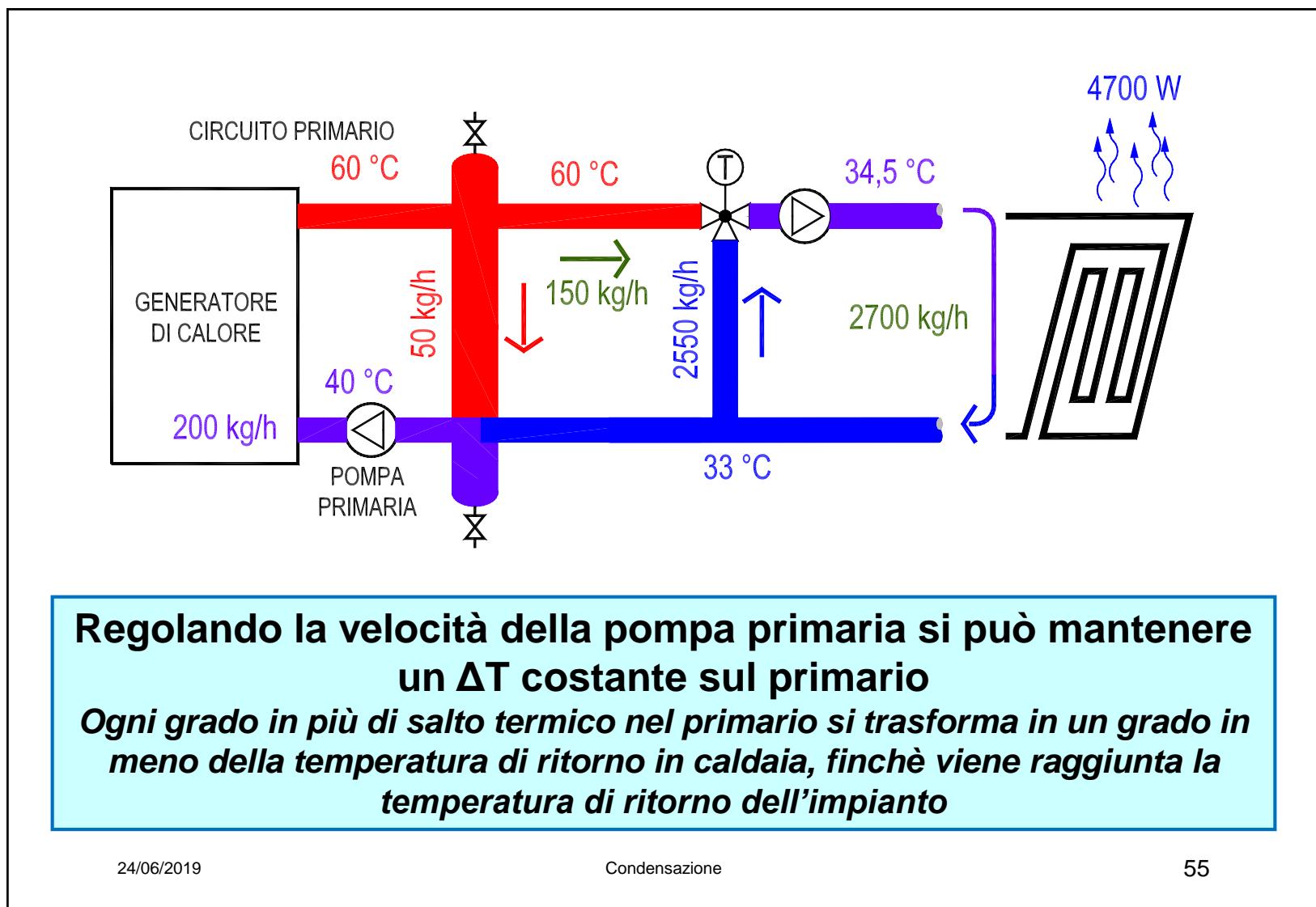
Condensazione

48









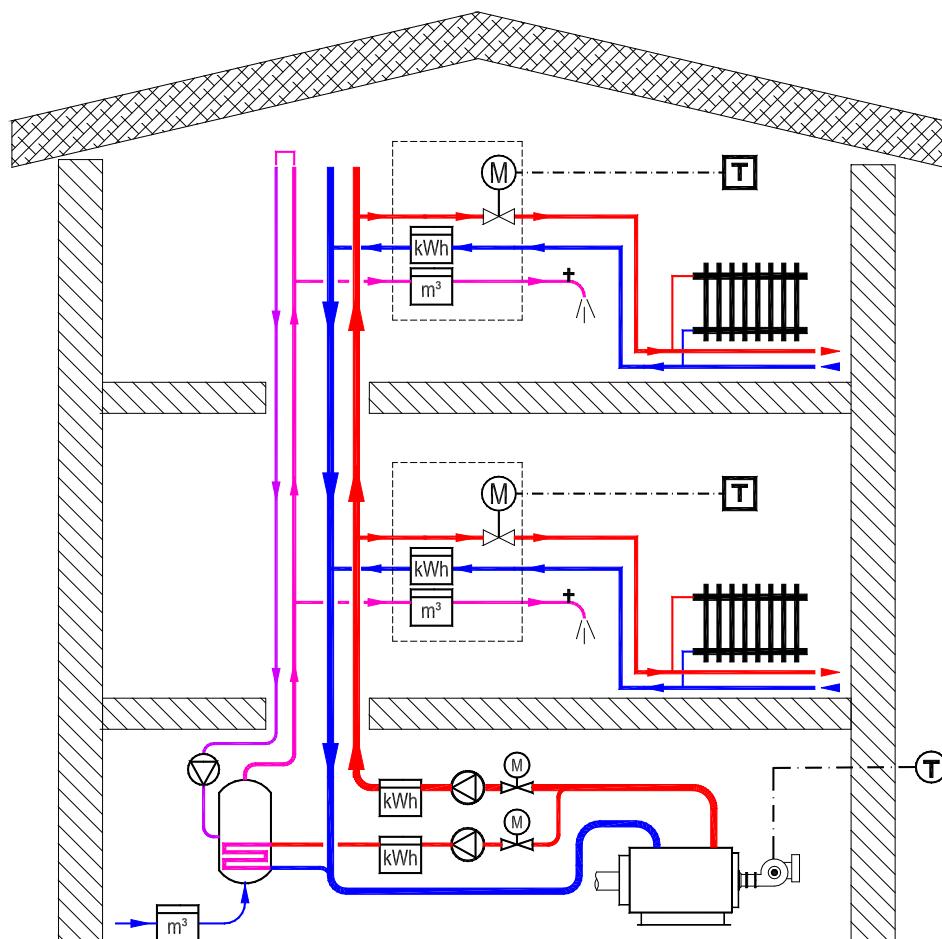
La progettazione di un impianto a condensazione

- Il progetto tradizionale si limita a
 - dimensionamento dell'impianto nelle condizioni di progetto (di massima potenza erogata).
 - calcolo dell'energia (consumi) in automatico con gli stessi dati
- Lo scopo dell'impianto diventa ora quello di funzionare con la minima temperatura di ritorno in caldaia possibile: anche la temperatura di ritorno dell'acqua in caldaia deve essere calcolata e progettata
- Occorre completare il progetto verificando le temperature dell'acqua nell'impianto nelle condizioni reali (medie) di funzionamento.
Ciò richiede un'attenzione particolare a:
 - dimensionamento dei corpi scaldanti
 - scelta del sistema di regolazione ambiente
 - schema idraulico e dimensionamento della rete di distribuzione
 - dimensionamento della pompa di circolazione
 - controllo di temperature e portate nel generatore di calore

24/06/2019

Condensazione

57



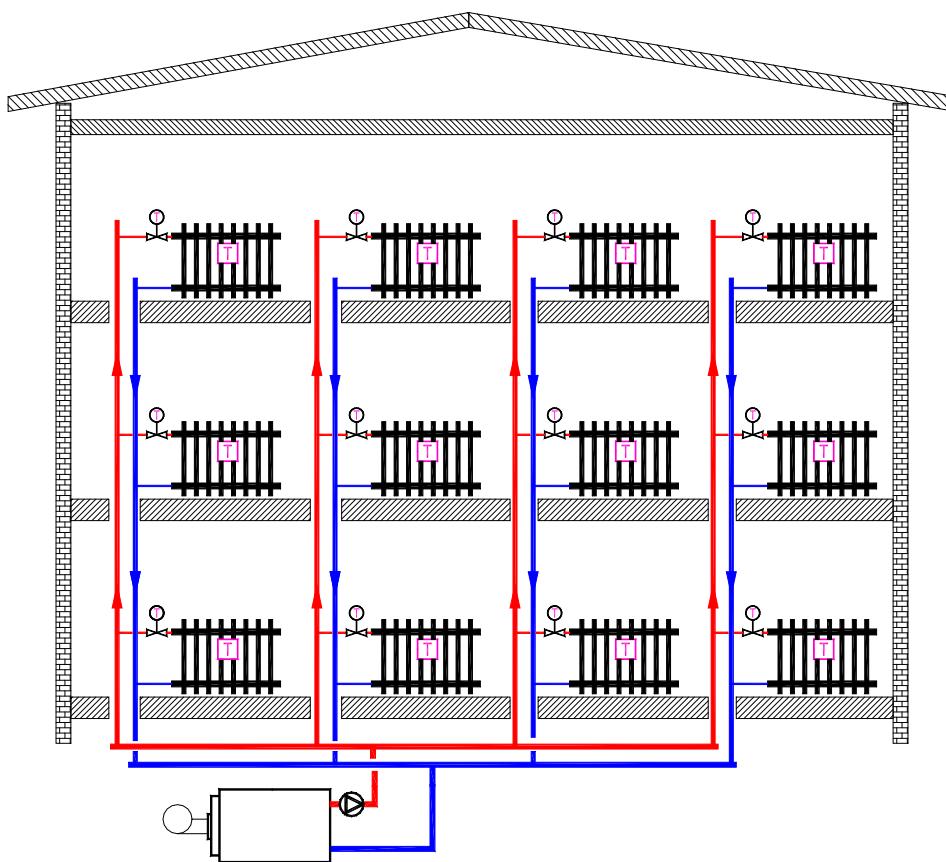
IMPIANTO TIPO A CONDENSAZIONE CON DISPOSITIVI DI CONTABILIZZAZIONE.

Se la caldaia è <35 kW può essere installata in un vano tecnico nel sottotetto: camino corto e pannelli solari vicini per integrazione

24/06/2019

Condensazione

58



24/06/2019

Condensazione

IMPIANTO TIPO A CONDENSAZIONE IN EDIFICIO ESISTENTE

Se possibile isolamento sottotetto: riduzione differenze consumi fra unità immobiliari

Meno costoso ed invasivo rispetto ad una serie di nuovi impianti autonomi

Se si inserisce uno scambiatore fra caldaia ed impianto → serve il controllo accurato delle portate nel primario.

59

E quindi....

- **Una caldaia a condensazione è una caldaia che può condensare, non una caldaia che condensa !**
- Condizione necessaria per funzionare in condensazione è che la temperatura di ritorno reale in caldaia sia sufficientemente bassa da far raffreddare i fumi sotto il punto di rugiada (circa 57 °C).
In pratica la condensazione **inizia** verso i 50 °C al ritorno in caldaia
- Le condizioni che favoriscono la condensazione sono
 - Bassa temperatura dell'acqua di ritorno in caldaia (< 50 °C)
 - Funzionamento della caldaia a bassa potenza
 - Basso eccesso d'aria (l'eccesso d'aria abbassa il punto di rugiada)
- Per questo occorre un impianto con
 - **Generatore in grado di funzionare a bassa potenza e, in presenza di radiatori o circuiti miscelati, in grado di mantenere salti termici elevati**
 - **Generatore con regolazione accurata** e stabile dell'eccesso d'aria, in particolare alle basse potenze
 - **In presenza di radiatori, uso di valvole termostatiche**, per abbassare la temperatura di ritorno dalla rete di distribuzione, sfruttando la preregolazione per garantire il corretto funzionamento anche nei transitori
 - **Schema idraulico e regolazioni adeguate**
 - **Funzionamento continuo**, senza intermittenza

24/06/2019

Condensazione

60