

–weishaupt–



ORDINE DEGLI  
INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI  
CHIETI

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

## Efficienza energetica con sistemi a condensazione e pompe di calore

Interventi:

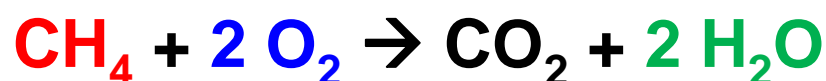
**Ing. Giuseppe Totaro**, Presidente Ordine Ingegneri Chieti  
**Ing. Agostino Consalvo**, Coordinatore dei lavori, Responsabile  
Commissione Impianti Ordine Ingegneri Chieti

**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**



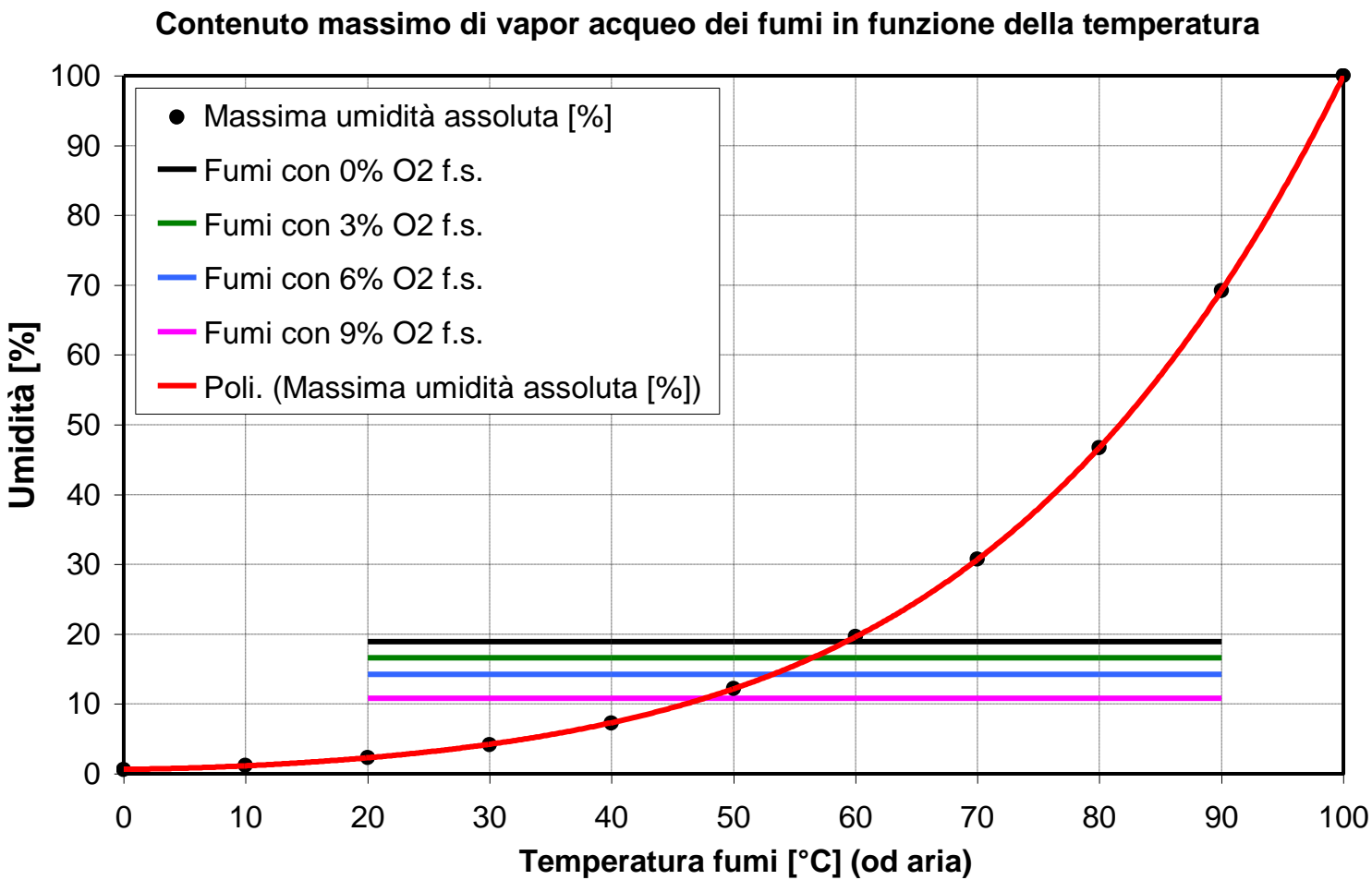
I fumi contengono vapor acqueo:

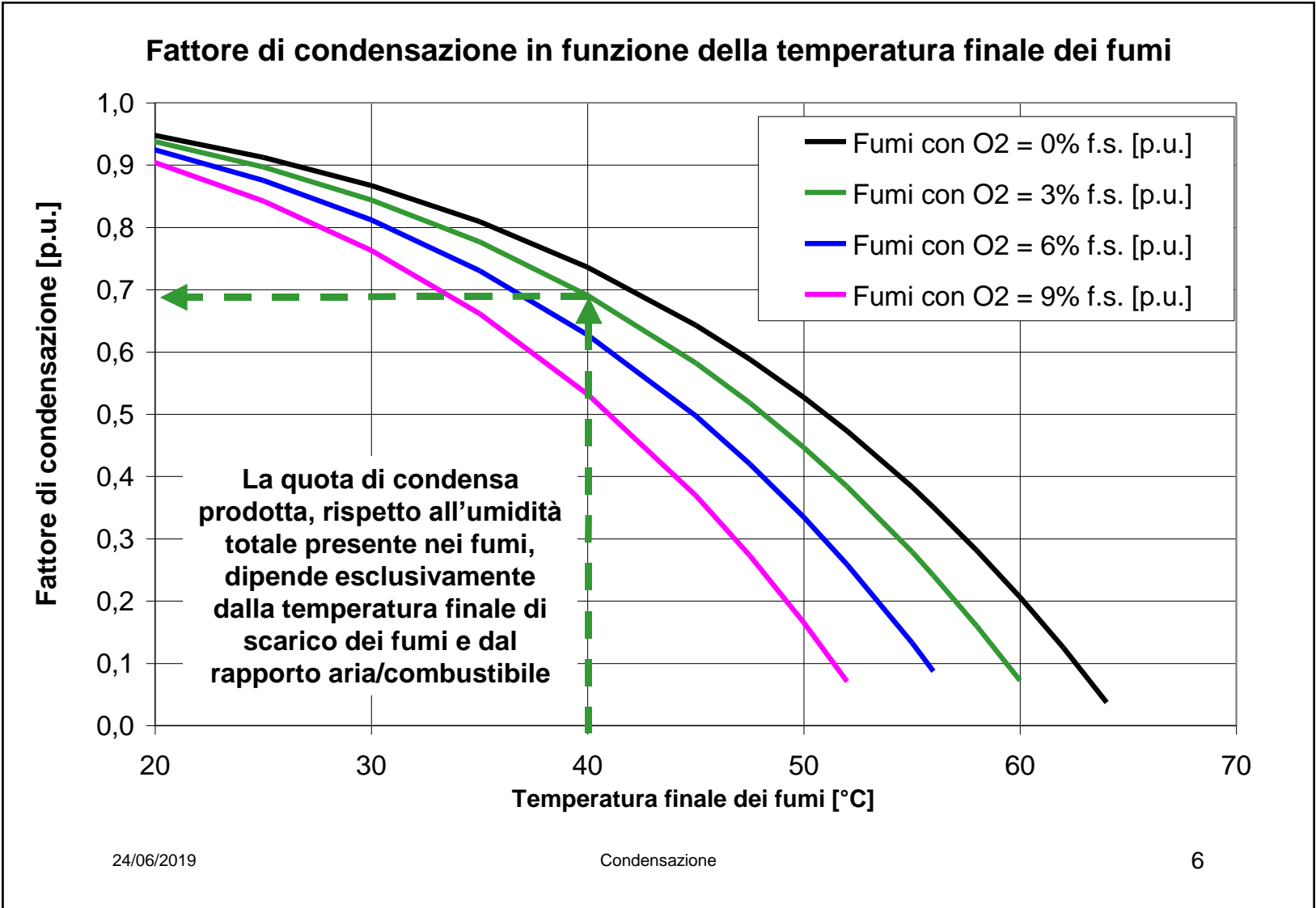
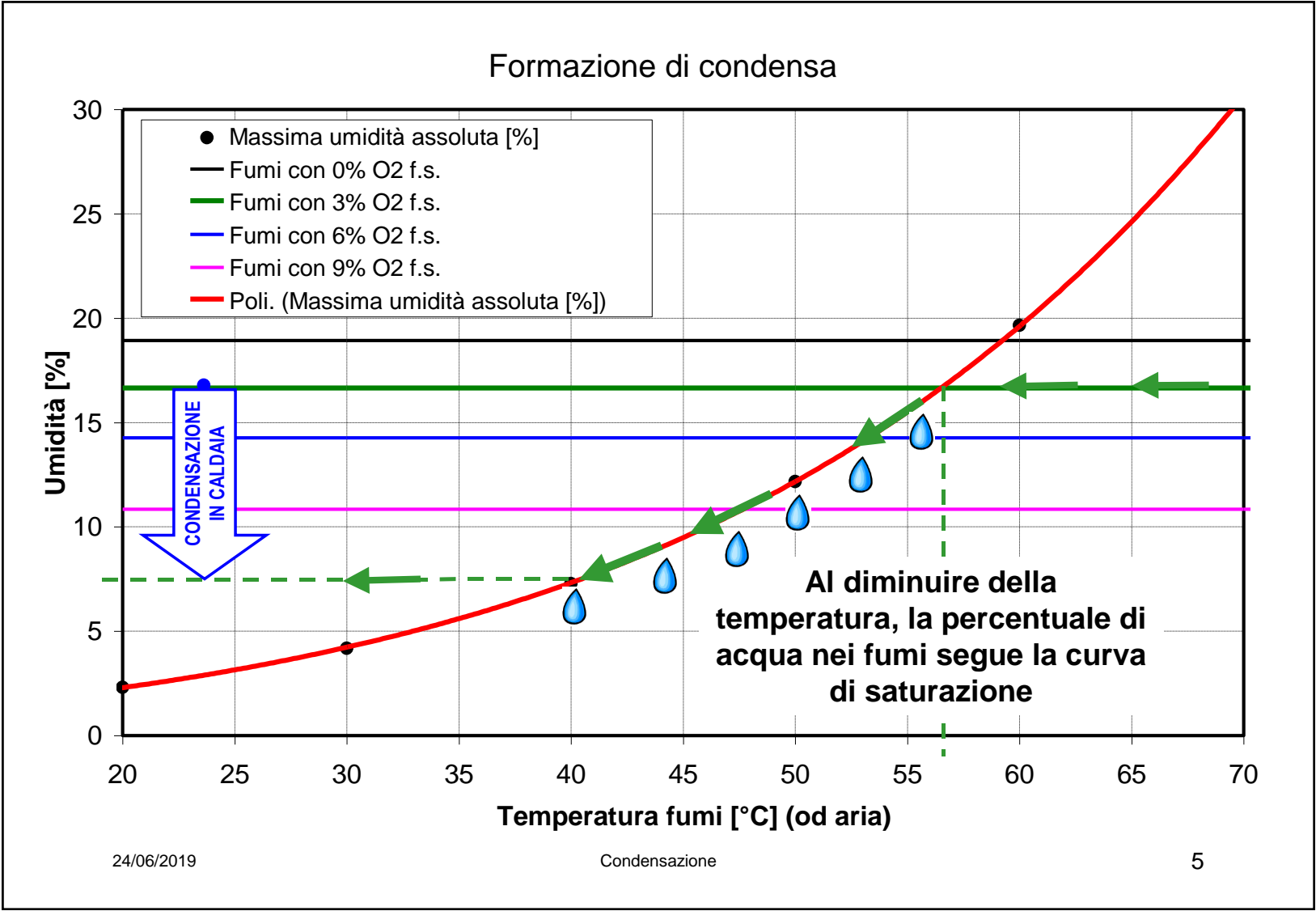
- **In passato:** non si poteva far condensare l'acqua:  
potere calorifico inferiore (8'250 kcal/Nm<sup>3</sup>)
- **Oggi:** possiamo far condensare i fumi:  
potere calorifico superiore (9'514 kcal/Nm<sup>3</sup>)
- **La caldaia a condensazione rende di più**
  - **perché i fumi escono a temperatura 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  $\cong$  10%
  - **perché le perdite a vuoto sono modeste**

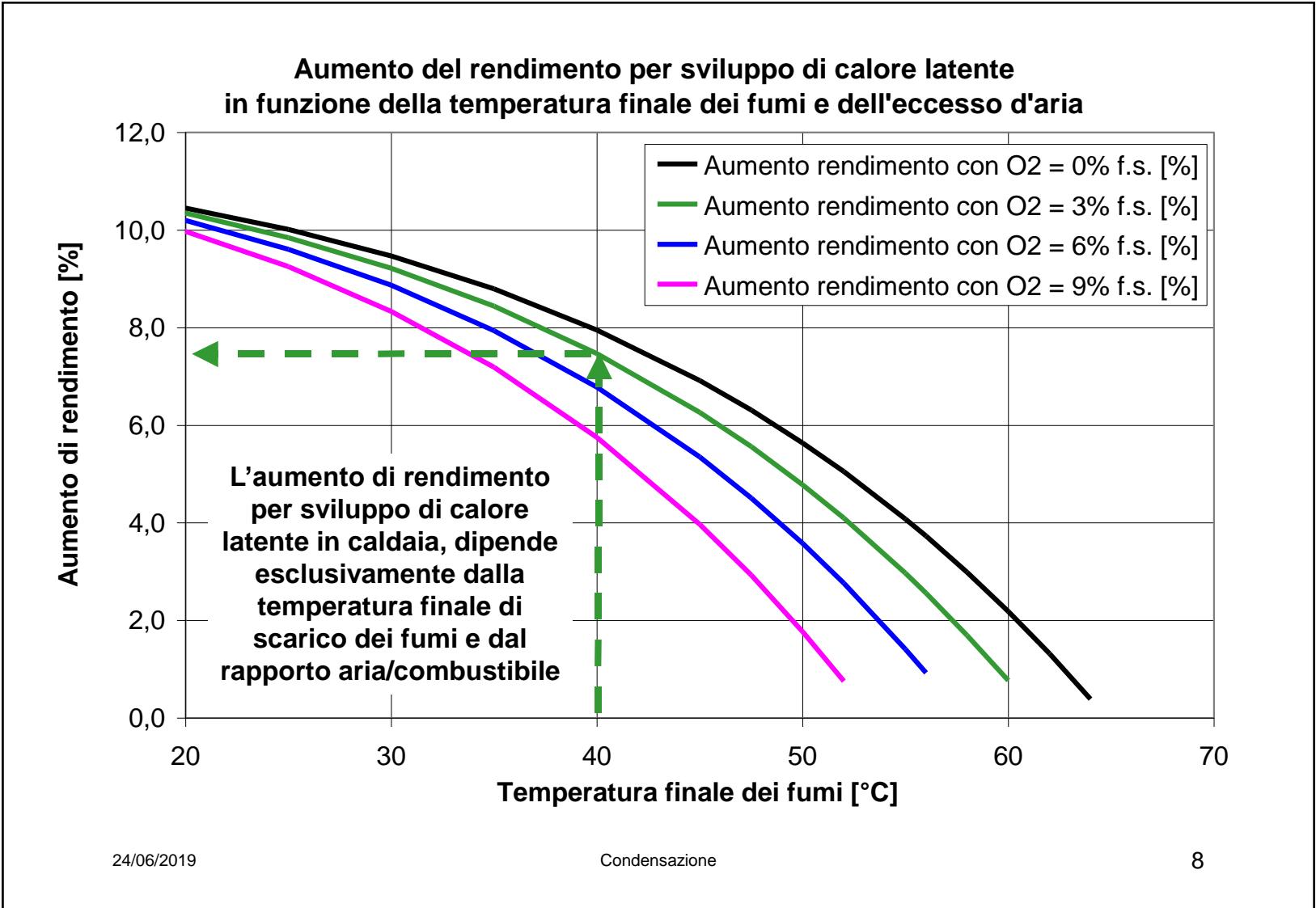
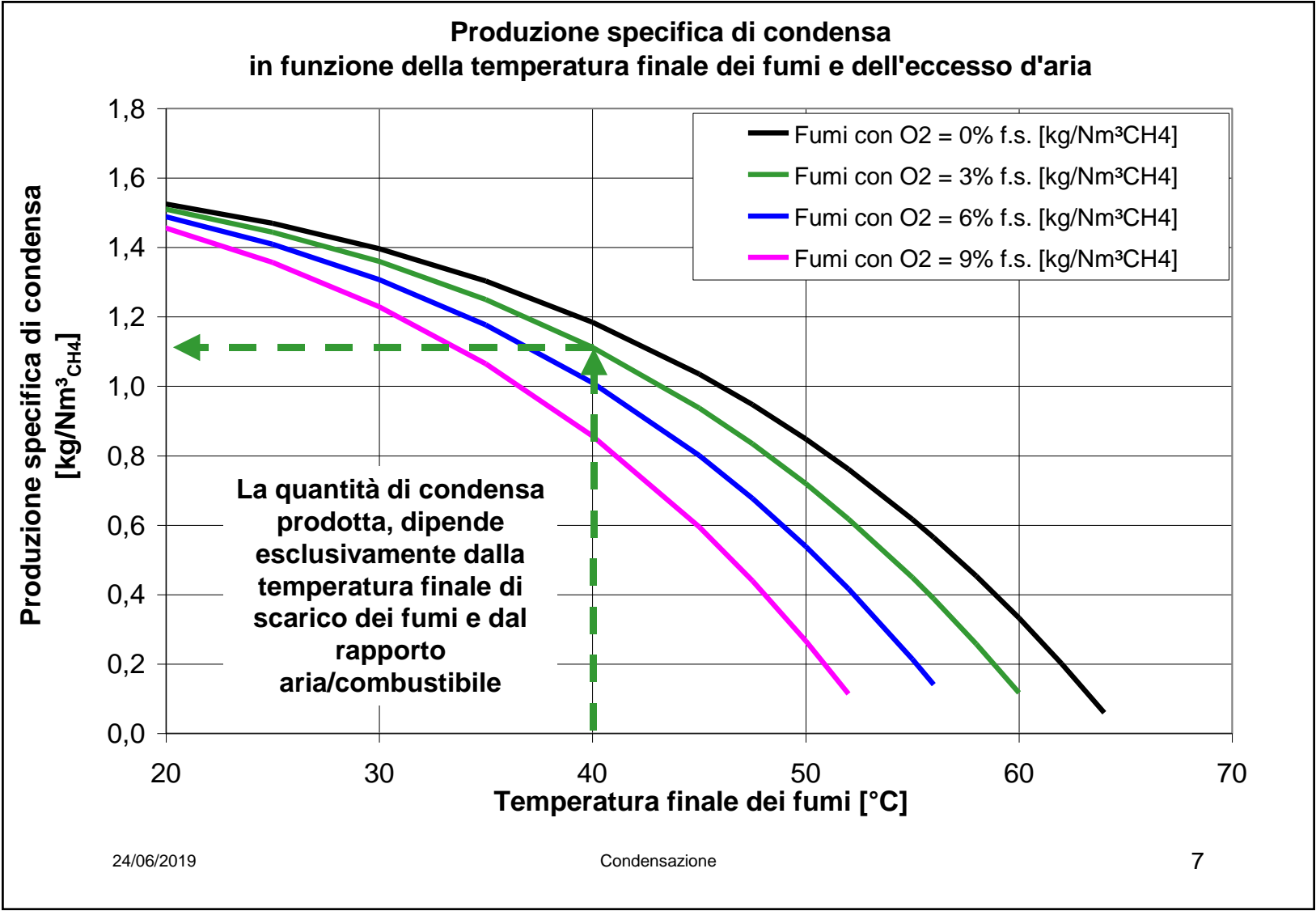
Composizione percentuale  
dei fumi di combustione del metano

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

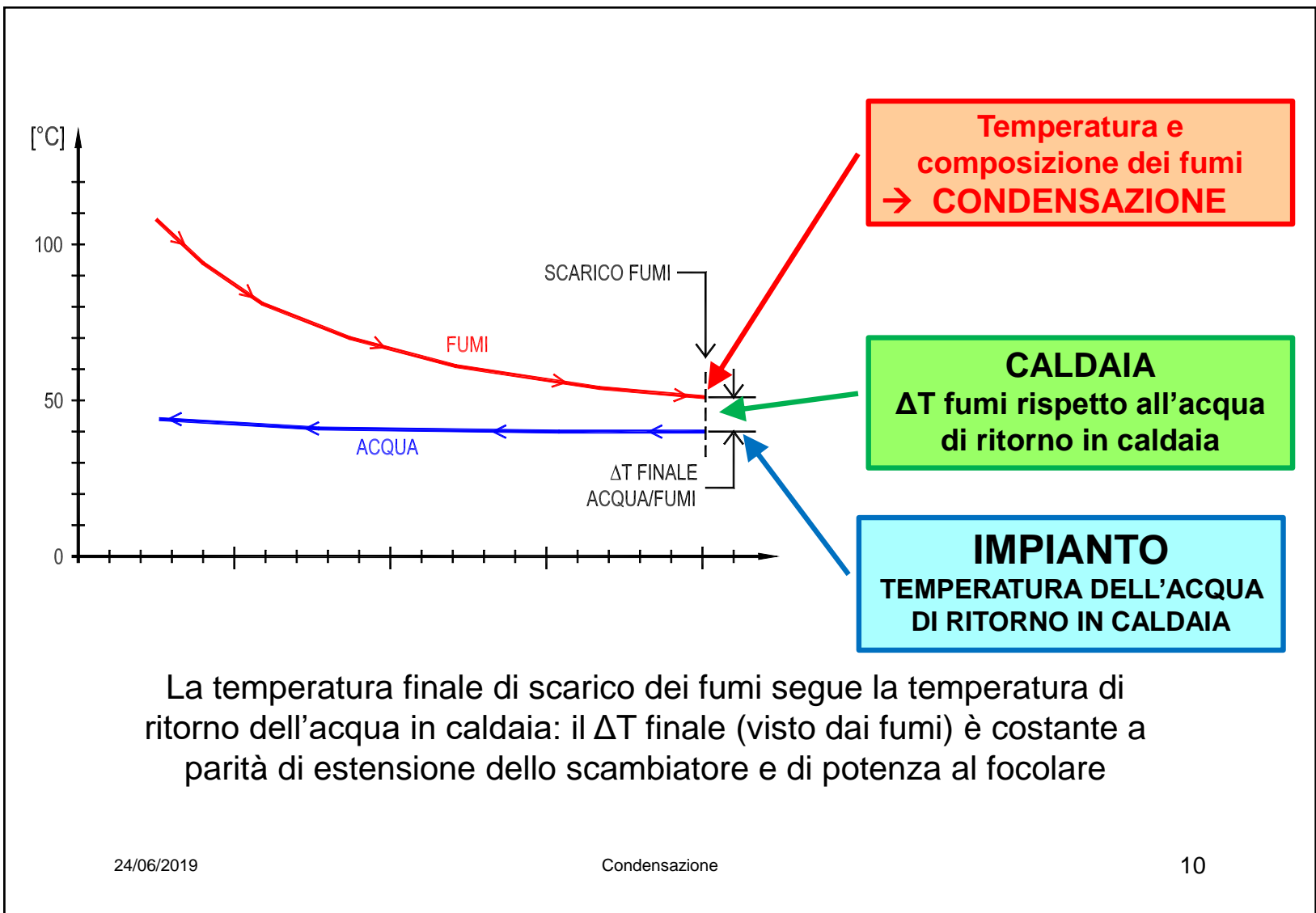
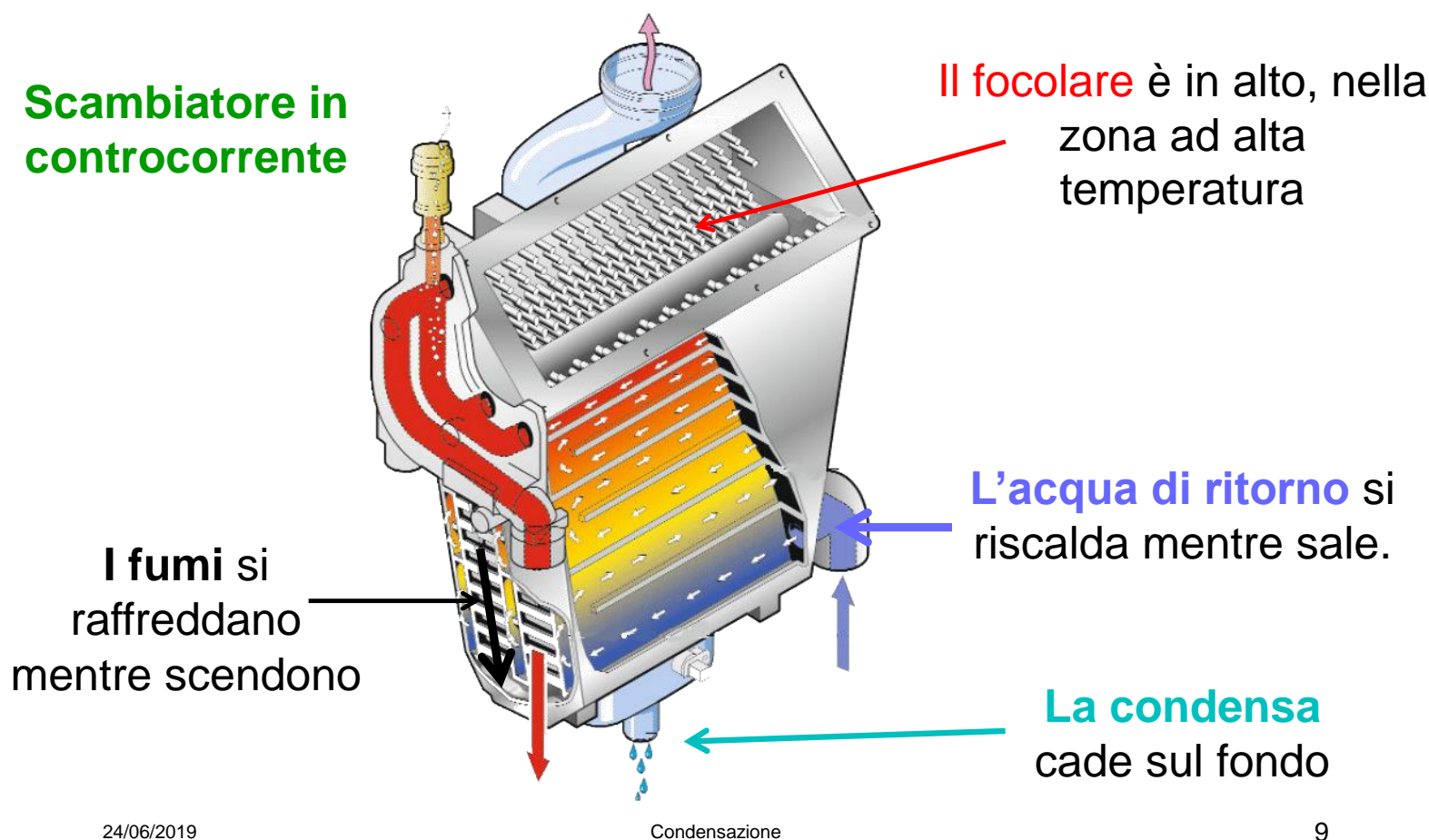
SE IL BRUCIATORE MODULA SOLO IL GAS,  
LA CONDENSAZIONE SI ANNULLA A POTENZA RIDOTTA.

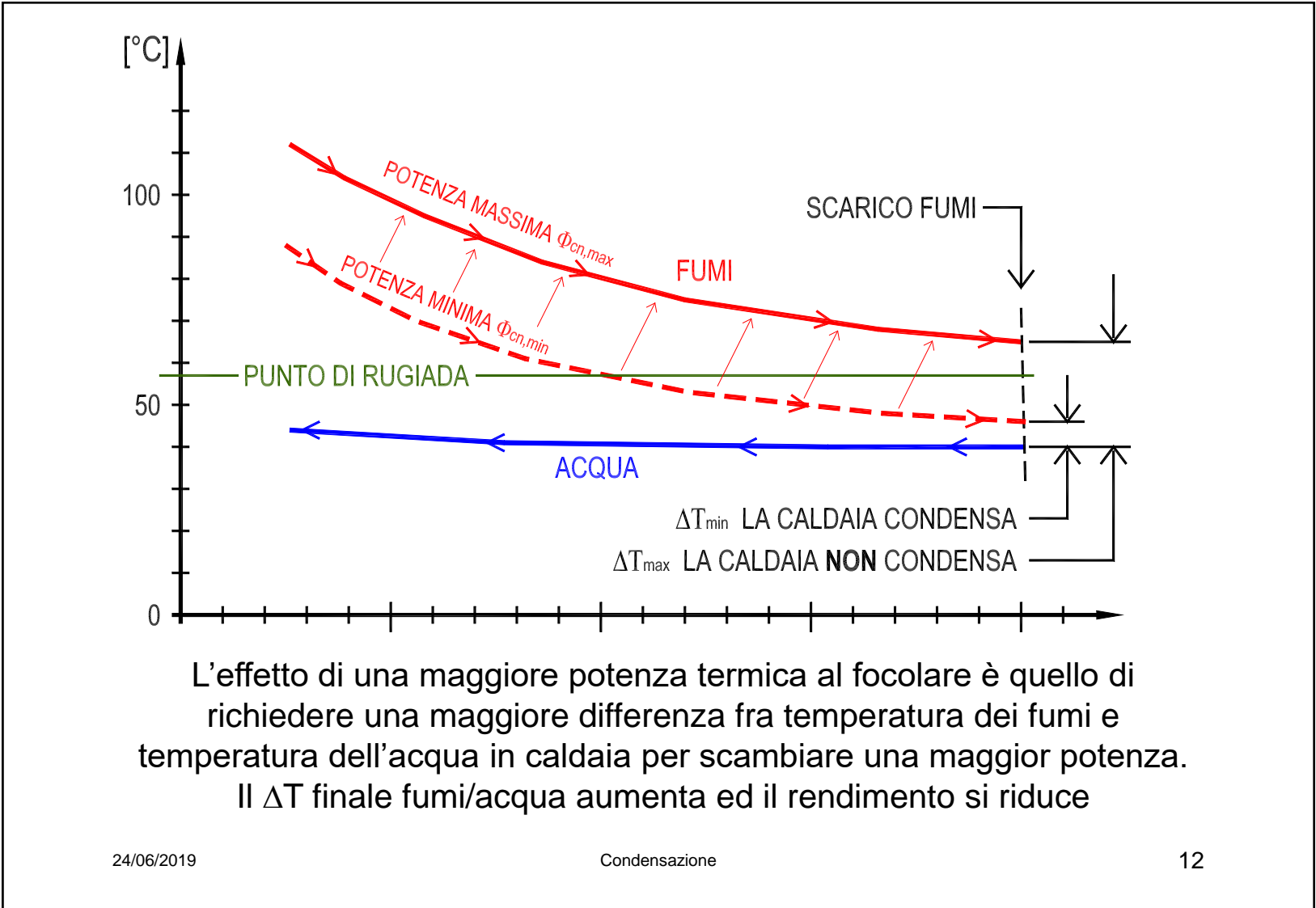
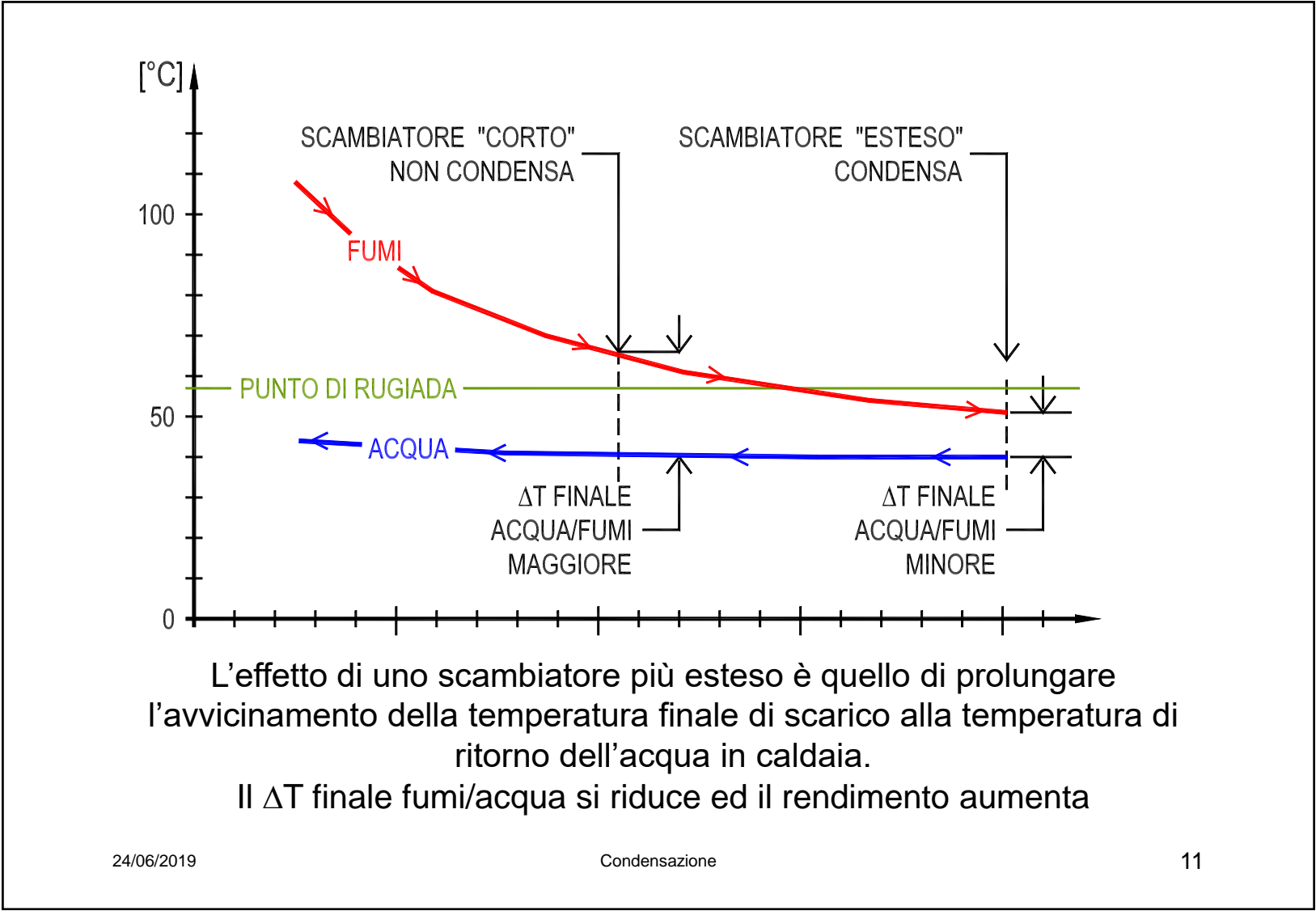






# Caldaia a condensazione

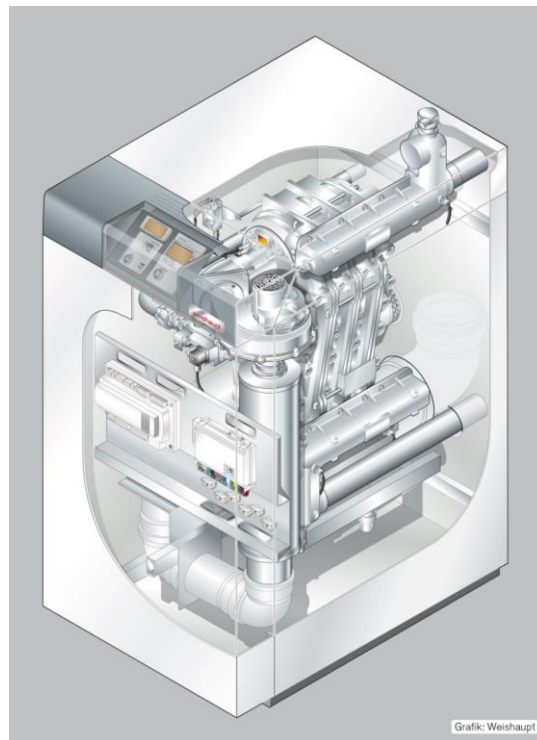






## Da ricordare ...

- 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?

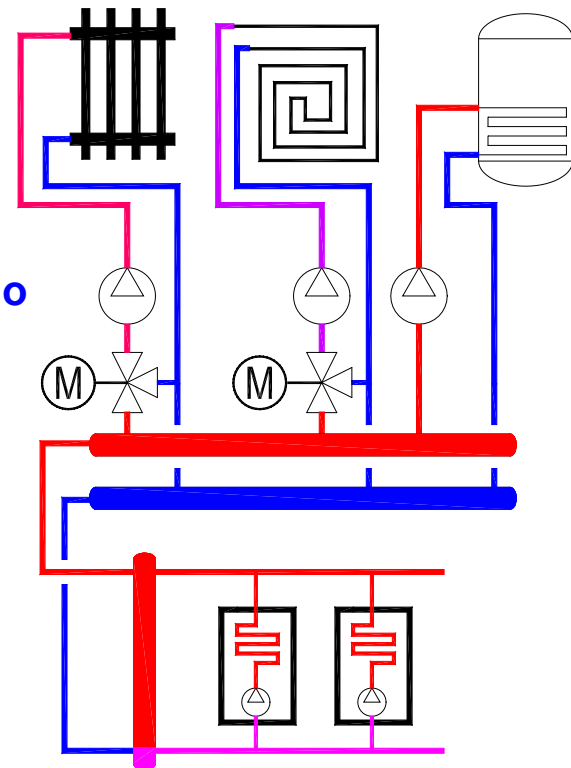
24/06/2019

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

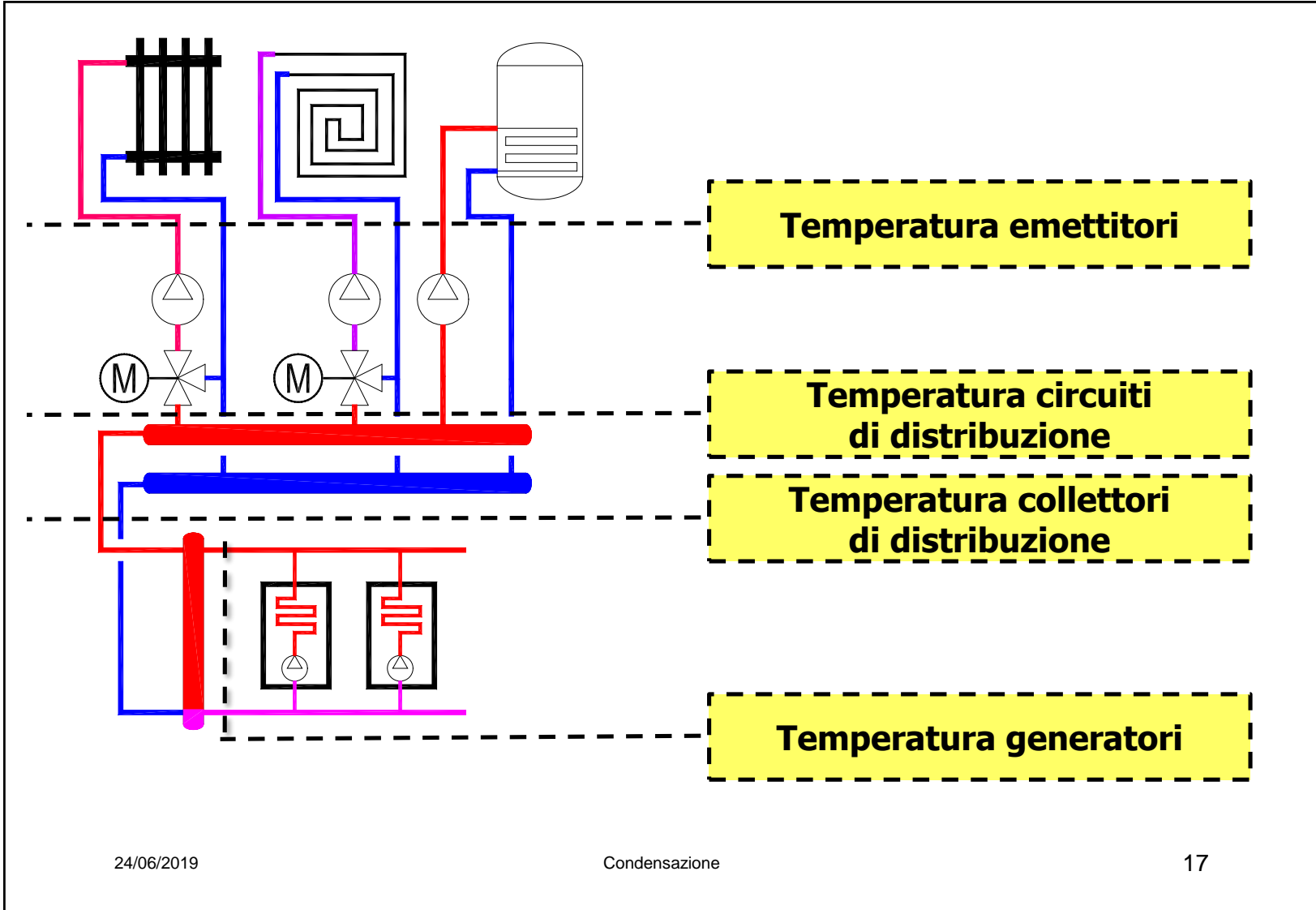
**NOTA BENE → POTENZA = PORTATA x  $\Delta T$  x  $C_p$**

24/06/2019

Condensazione

16





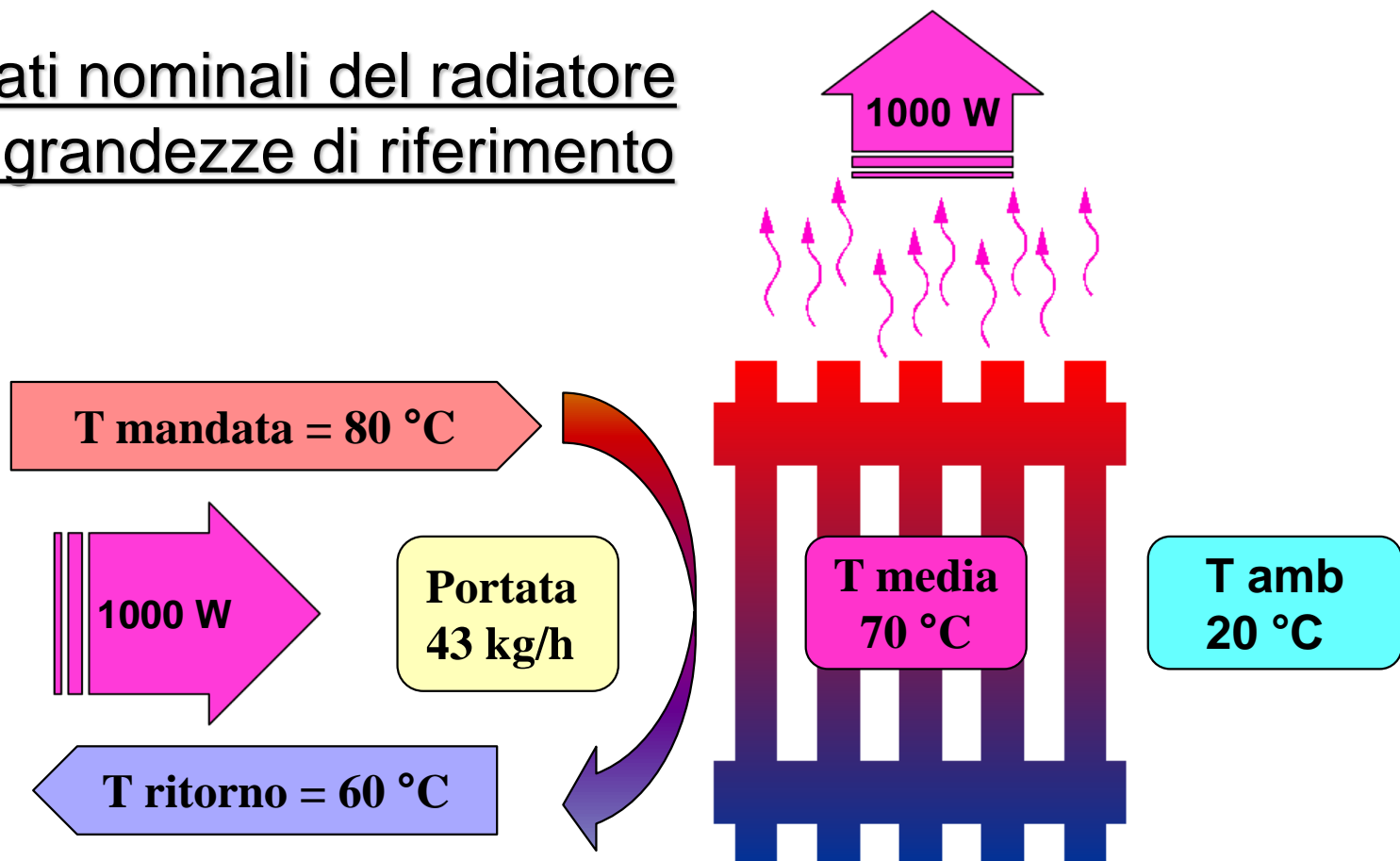
## Calcolo delle temperature dell'acqua nell'impianto

### 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**)

## Dati nominali del radiatore e grandezze di riferimento

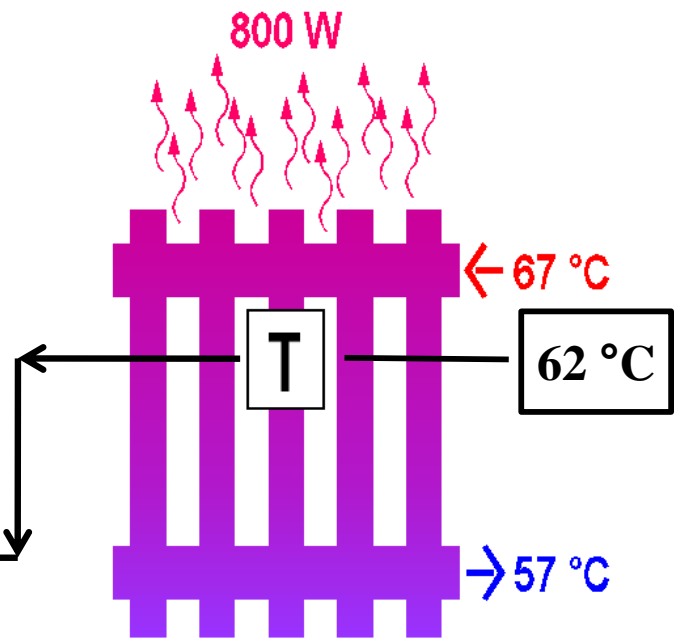
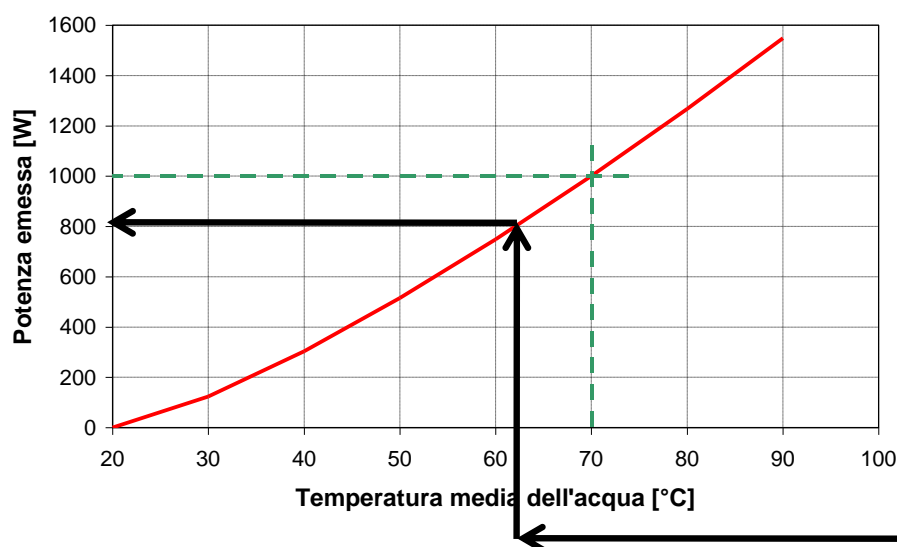


24/06/2019

Condensazione

19

Potenza radiatore in funzione della temperatura media dell'acqua



**LA POTENZA EMESSA DA UN RADIATORE DIPENDE DALLA SUA TEMPERATURA MEDIA**

$$P = \left( \frac{T_{med} - T_{amb}}{70\text{ °C} - 20\text{ °C}} \right)^{1,3} \cdot P_{nom} = (T_{mand} - T_{rit}) \cdot Portata \cdot C_p$$

24/06/2019

Condensazione

20

## Perché regolare?

- Il dimensionamento riguarda la 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

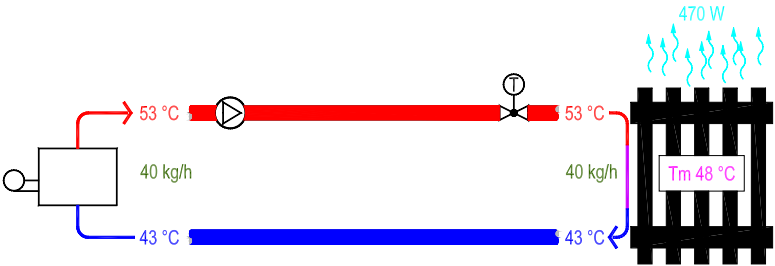
Condensazione

22

# Circuiti di distribuzione fondamentali

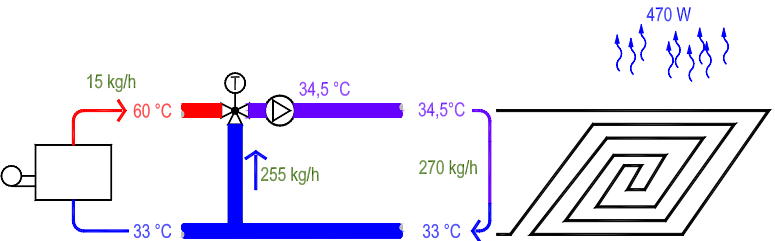
- **Circuito diretto**

Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta



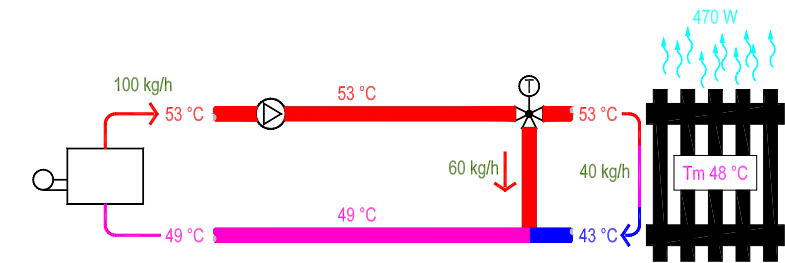
- **Circuito miscelato**

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 (?).

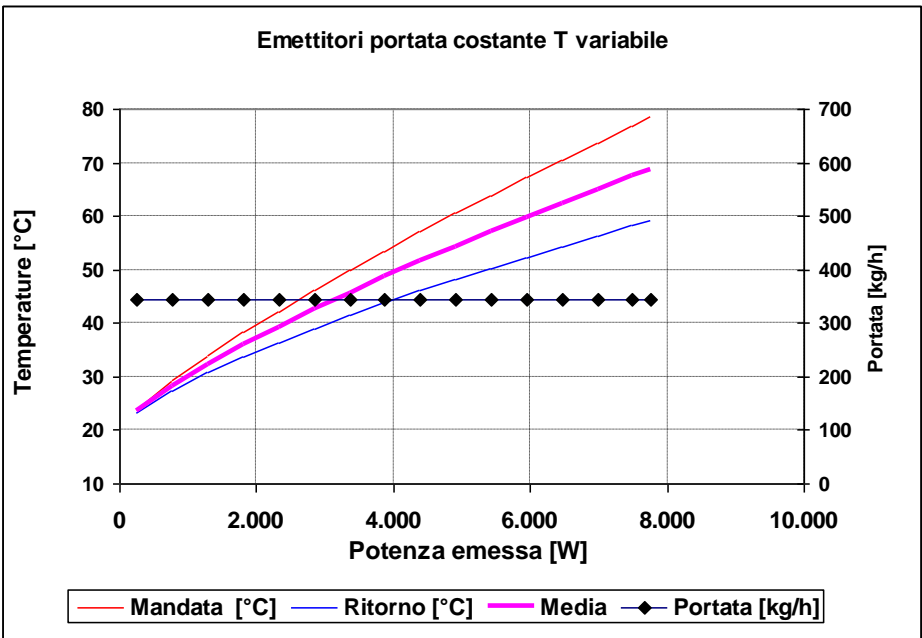


24/06/2019

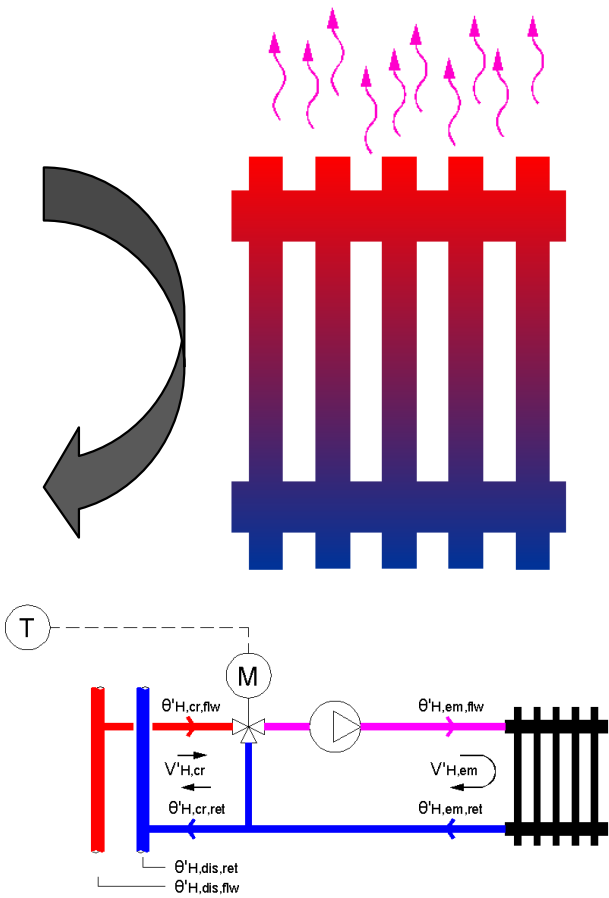
Condensazione

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  $\Phi_{prog}$
- 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  $n$  (radiatore  $\rightarrow 1,3$ )
- La temperatura ambiente di riferimento  $\theta_{int} = 20\text{ °C}$

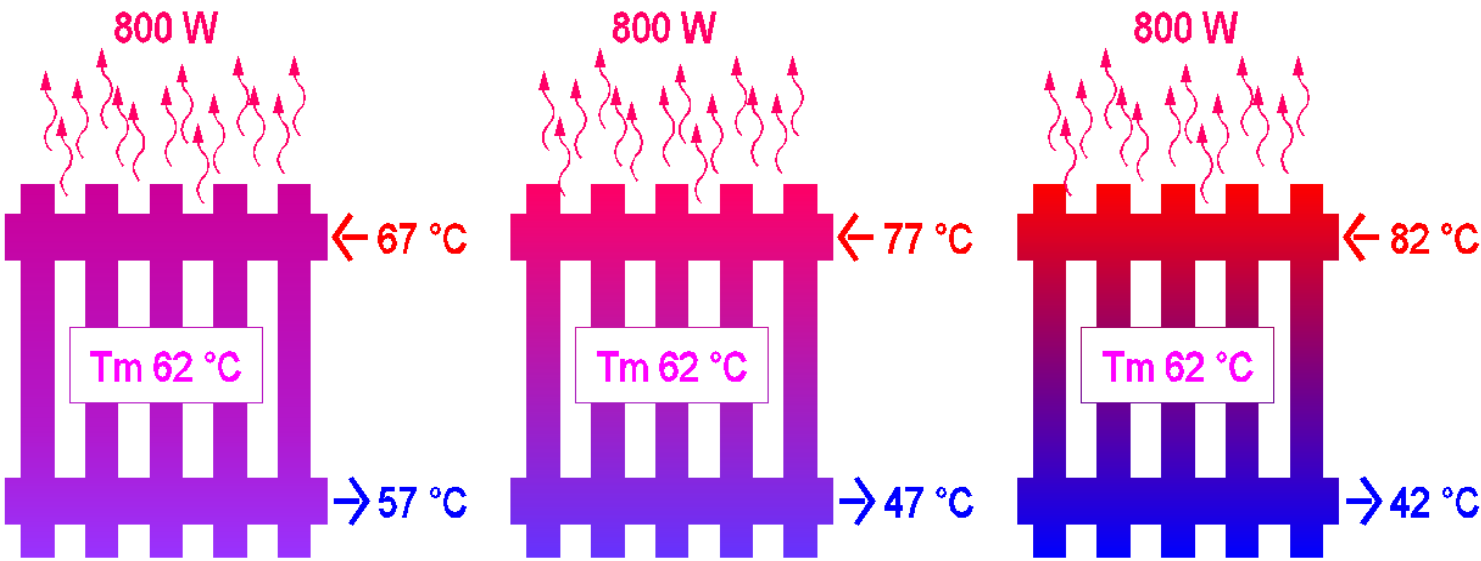
$\rightarrow$  si ricava la potenza nominale di progetto  $\Phi_{nom,prog}$  del corpo scaldante

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

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

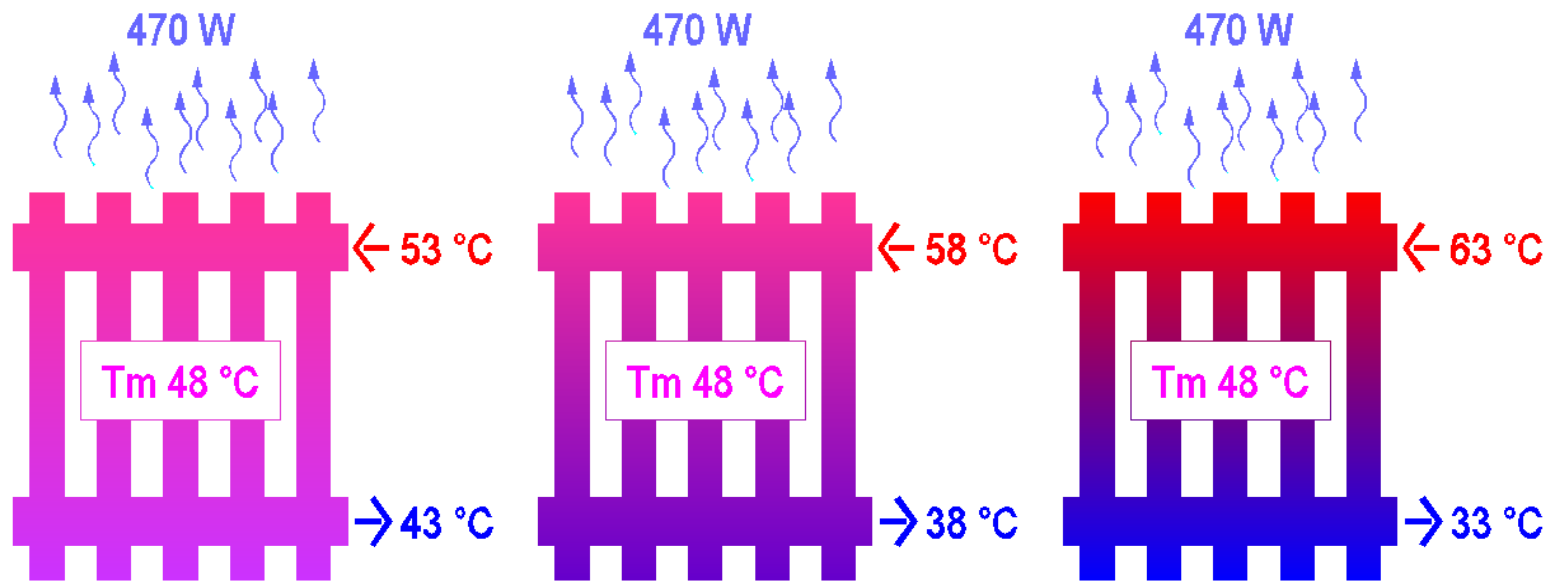
Situazione media per il mese di gennaio  
in caso di progettazione tradizionale  
e funzionamento 14 ore al giorno.

Potenza di dimensionamento UNI 7357: 1000 W



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

Potenza di dimensionamento 1000 W

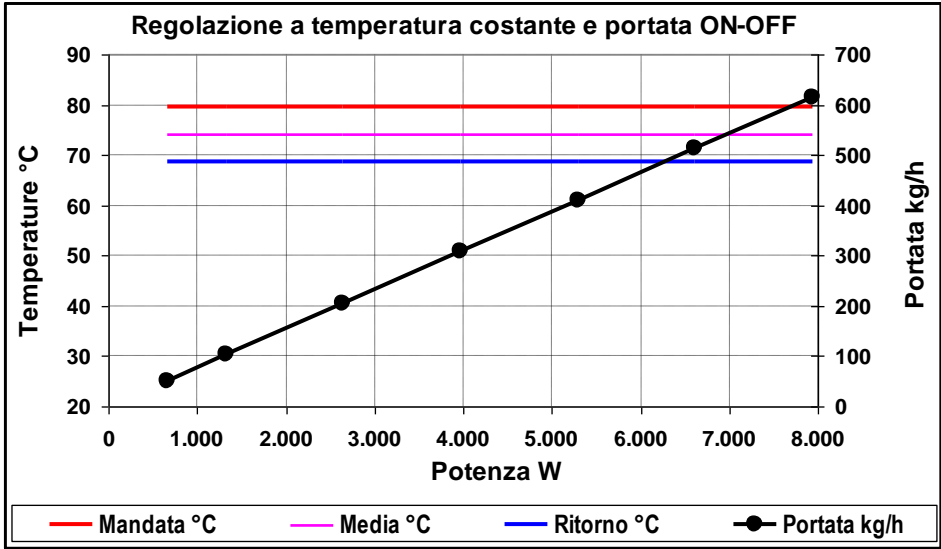


24/06/2019

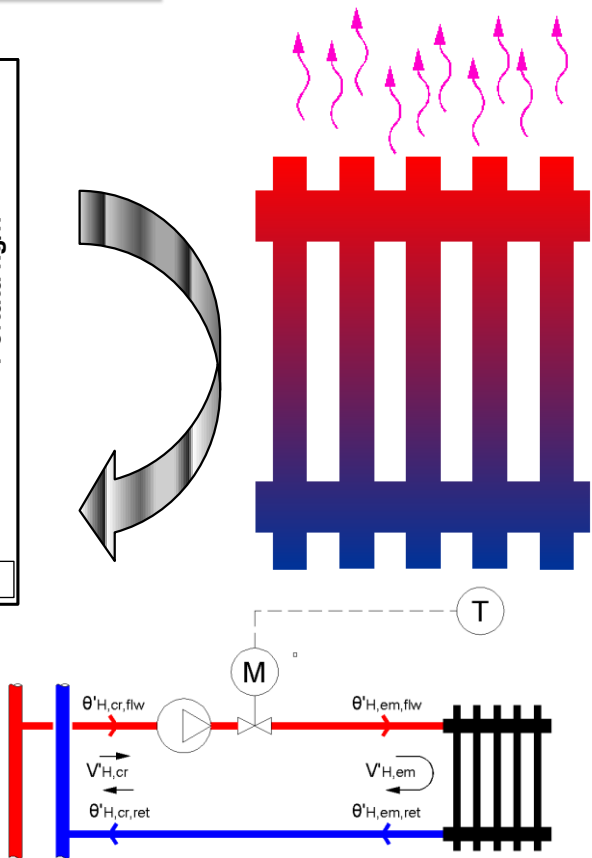
Condensazione

27

# Regolazione ON-OFF



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



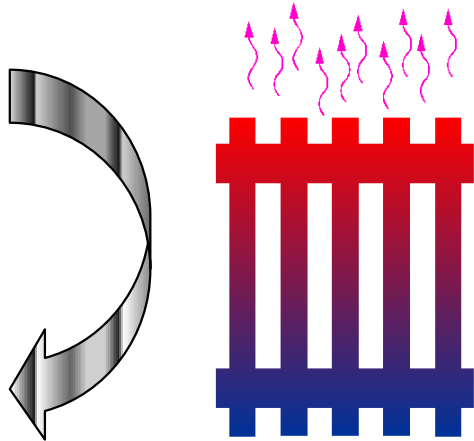
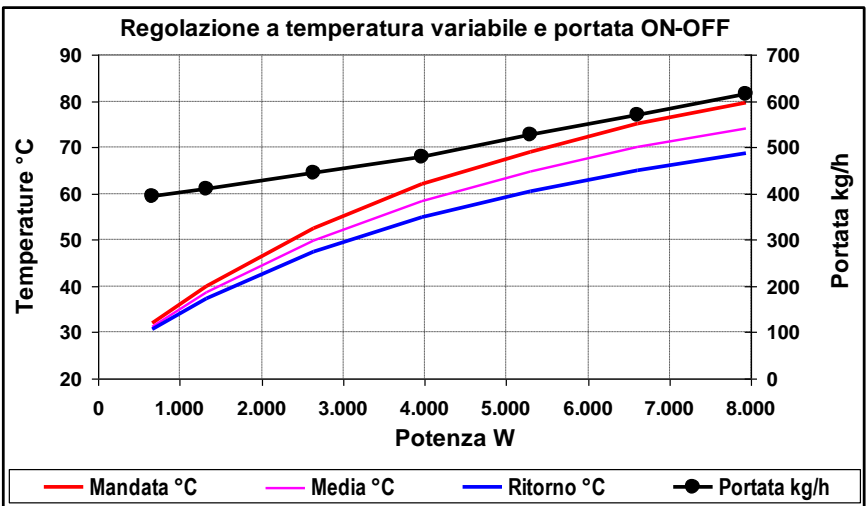
24/06/2019

Condensazione

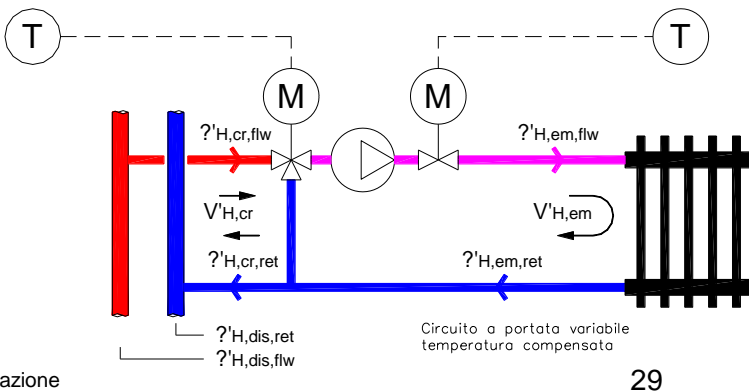
28



# 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

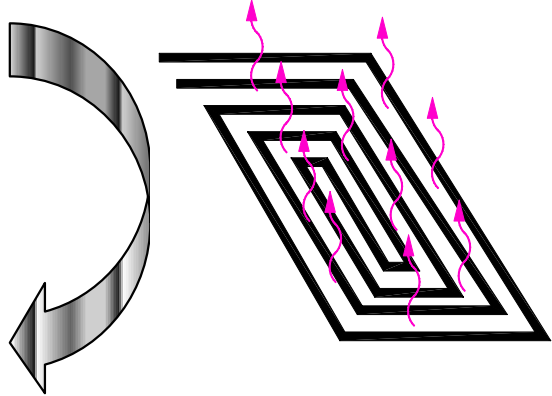
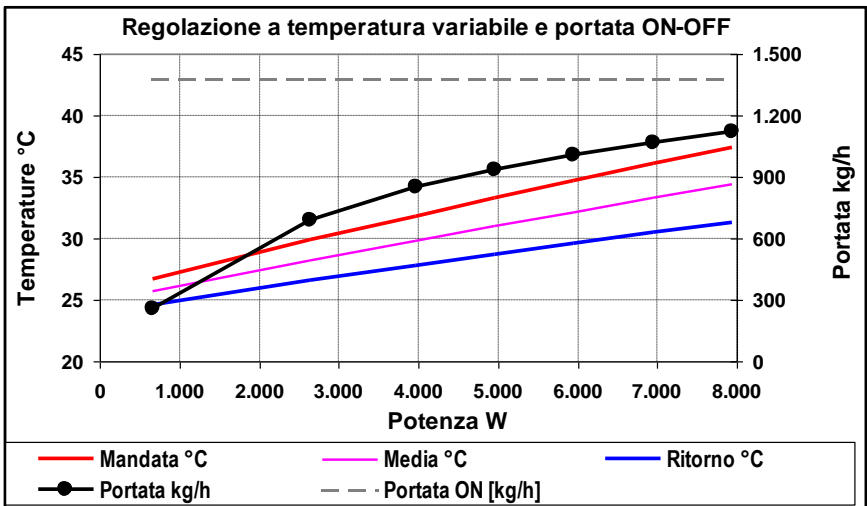


24/06/2019

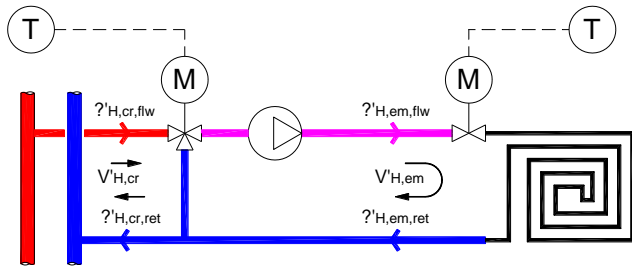
Condensazione

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

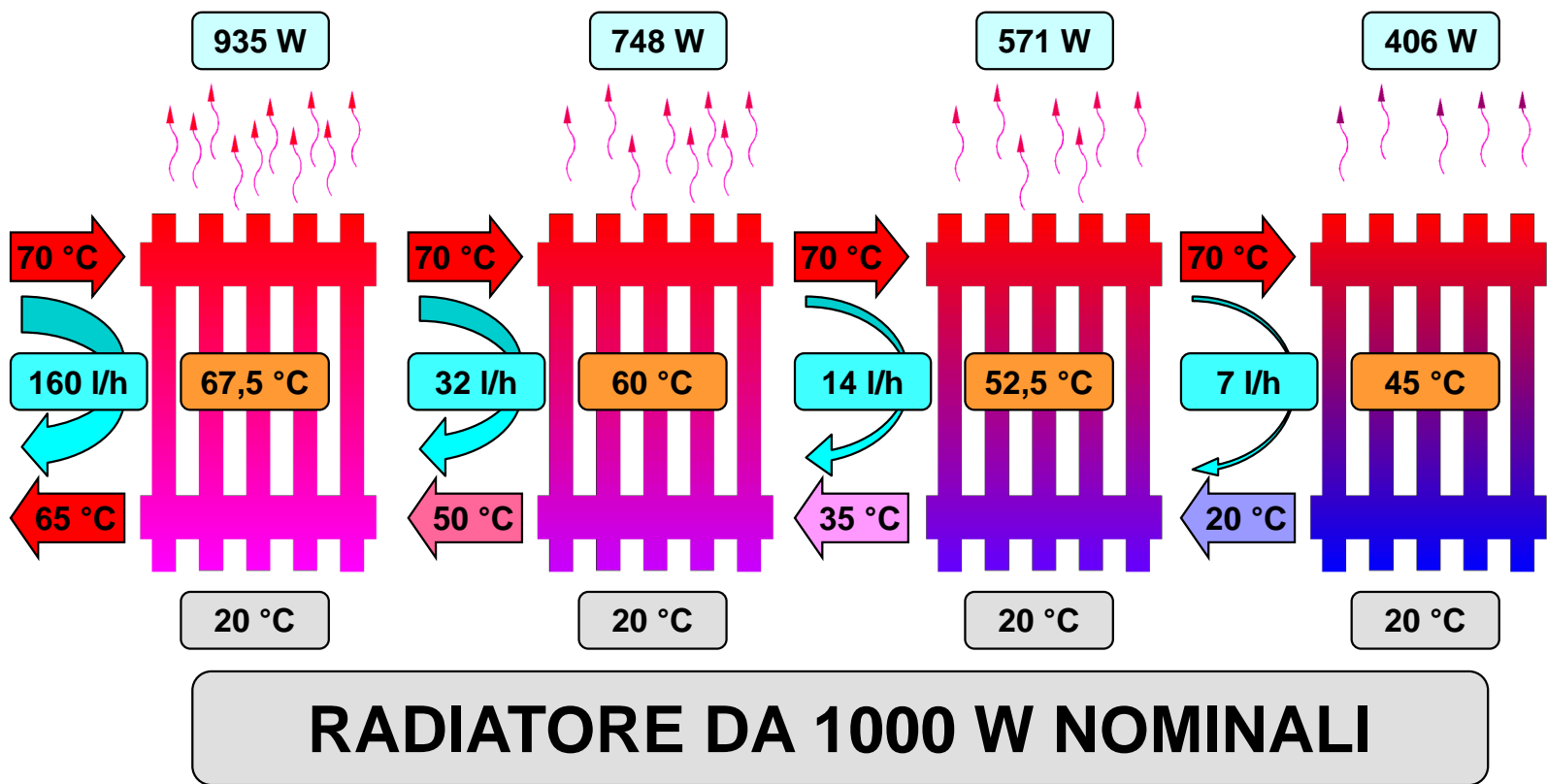


24/06/2019

Condensazione

30

# Regolazione a portata variabile

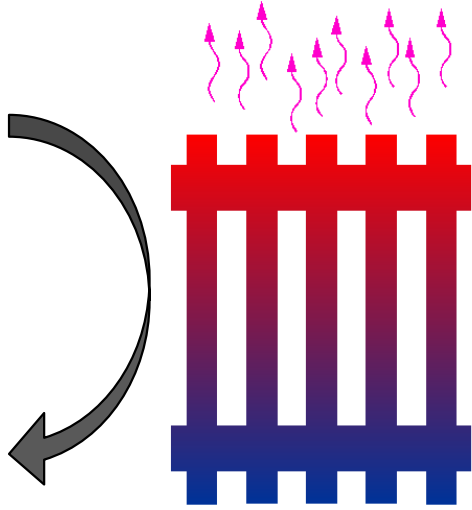
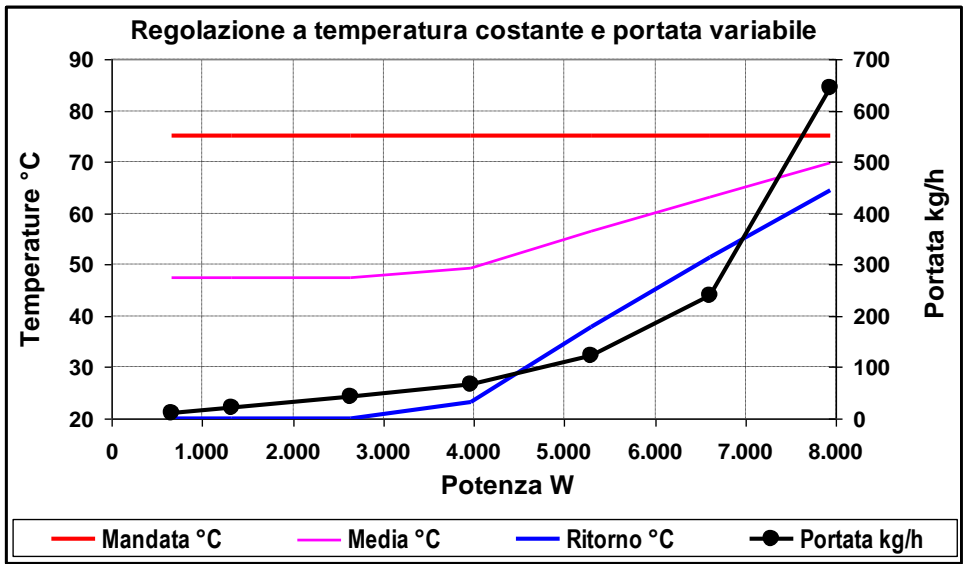


24/06/2019

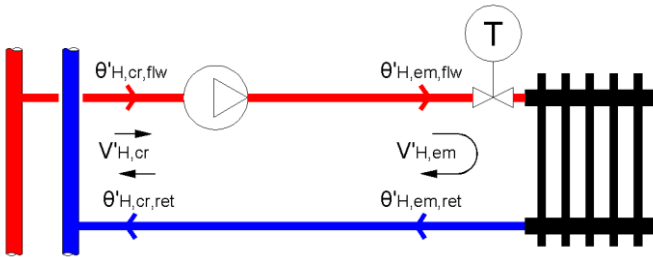
Condensazione

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)**

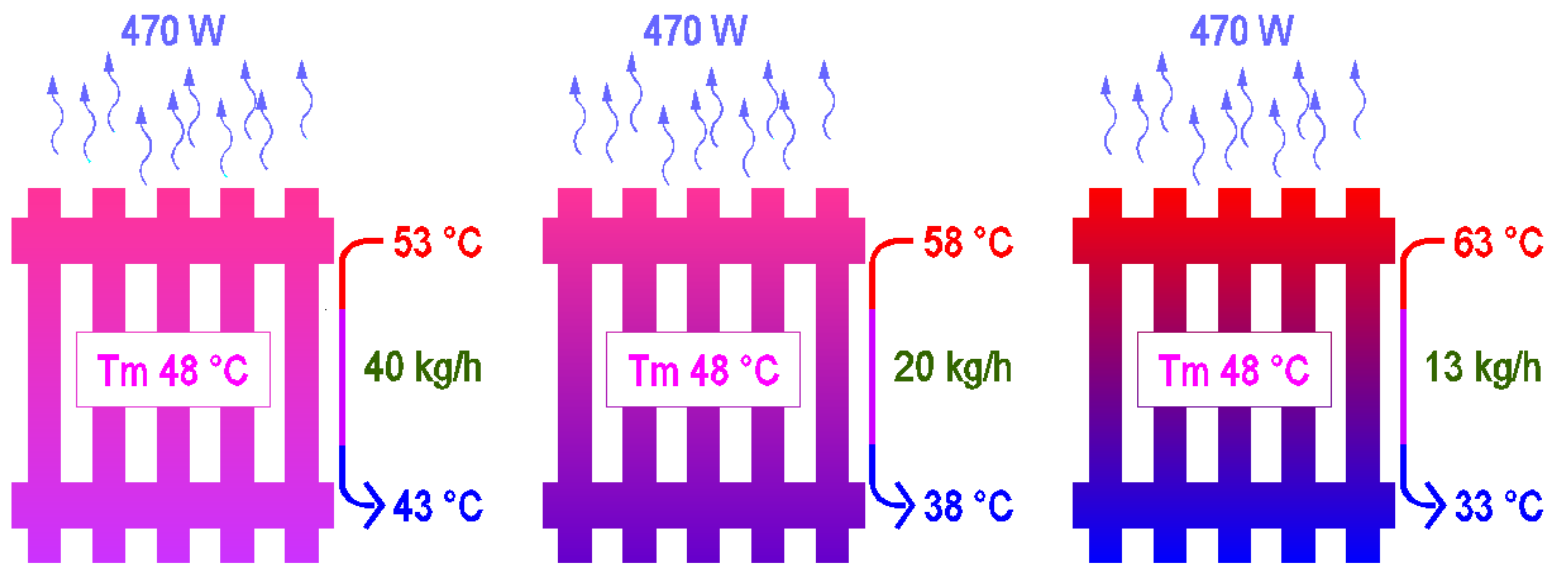


24/06/2019

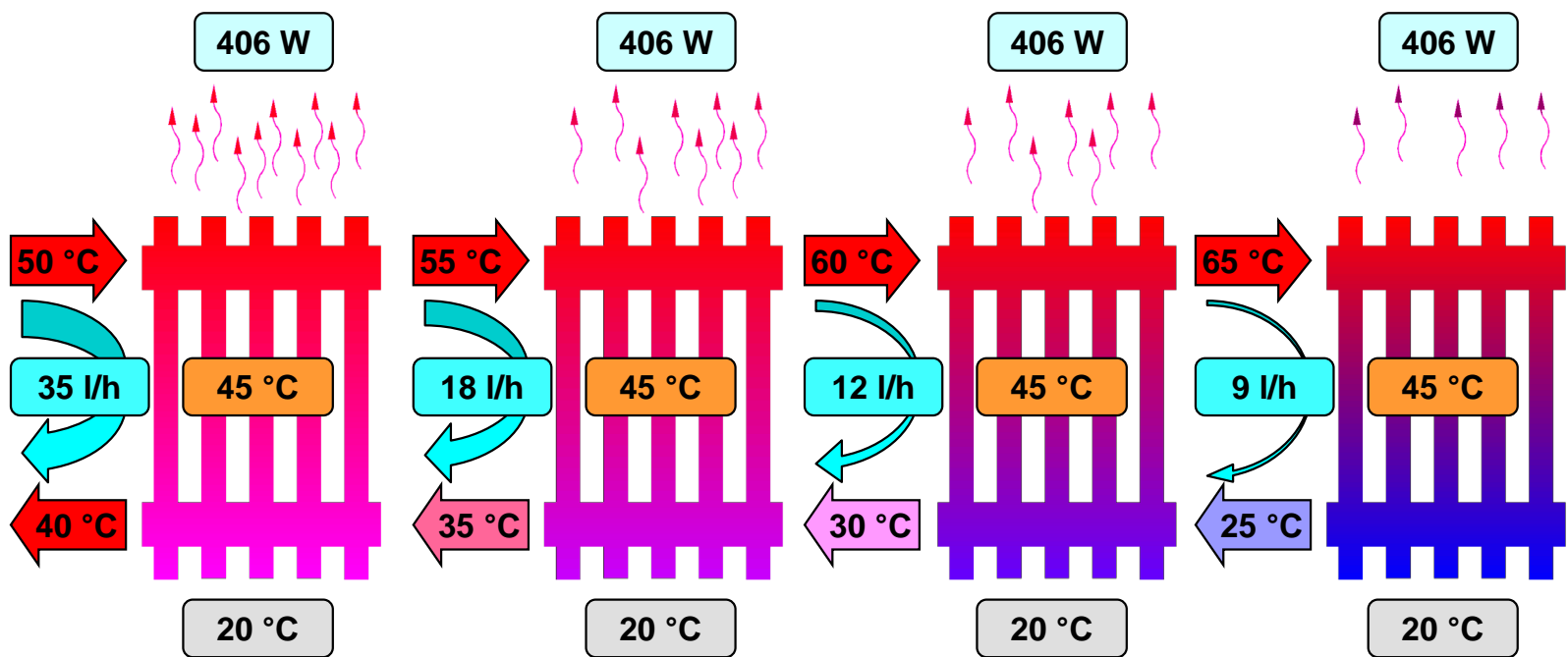
Condensazione

32

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

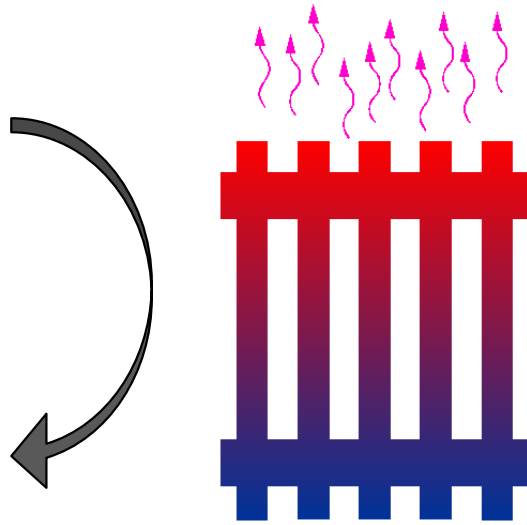
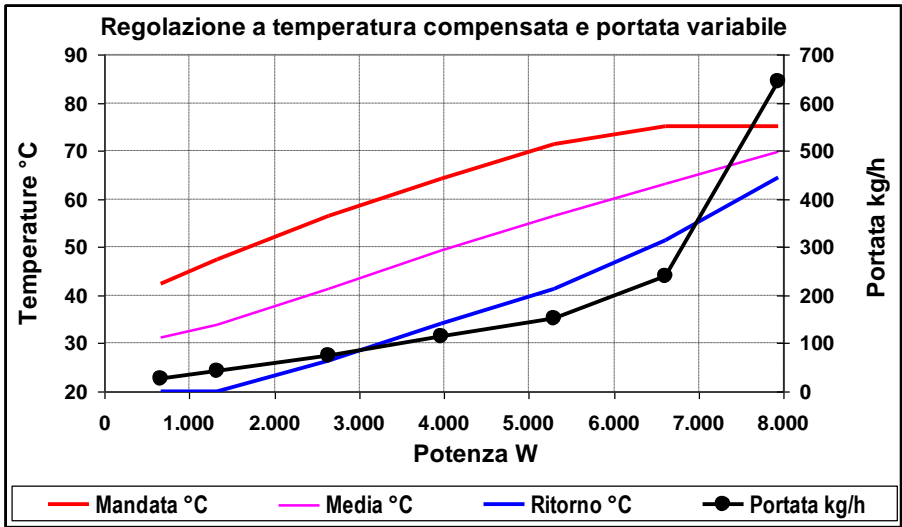


# Effetto della variazione di temperatura

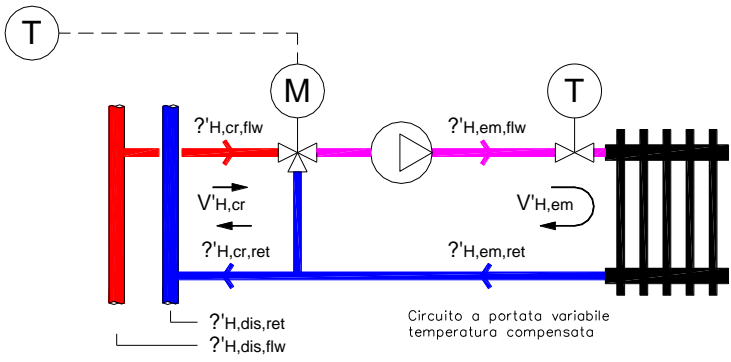


In presenza di regolazione per singolo corpo scaldante agente sulla portata (valvole termostatiche), una variazione della temperatura di mandata provoca solo un cambiamento delle portate (entro il limite idraulico di massima portata).

Regolazione a portata variabile con temperatura compensata



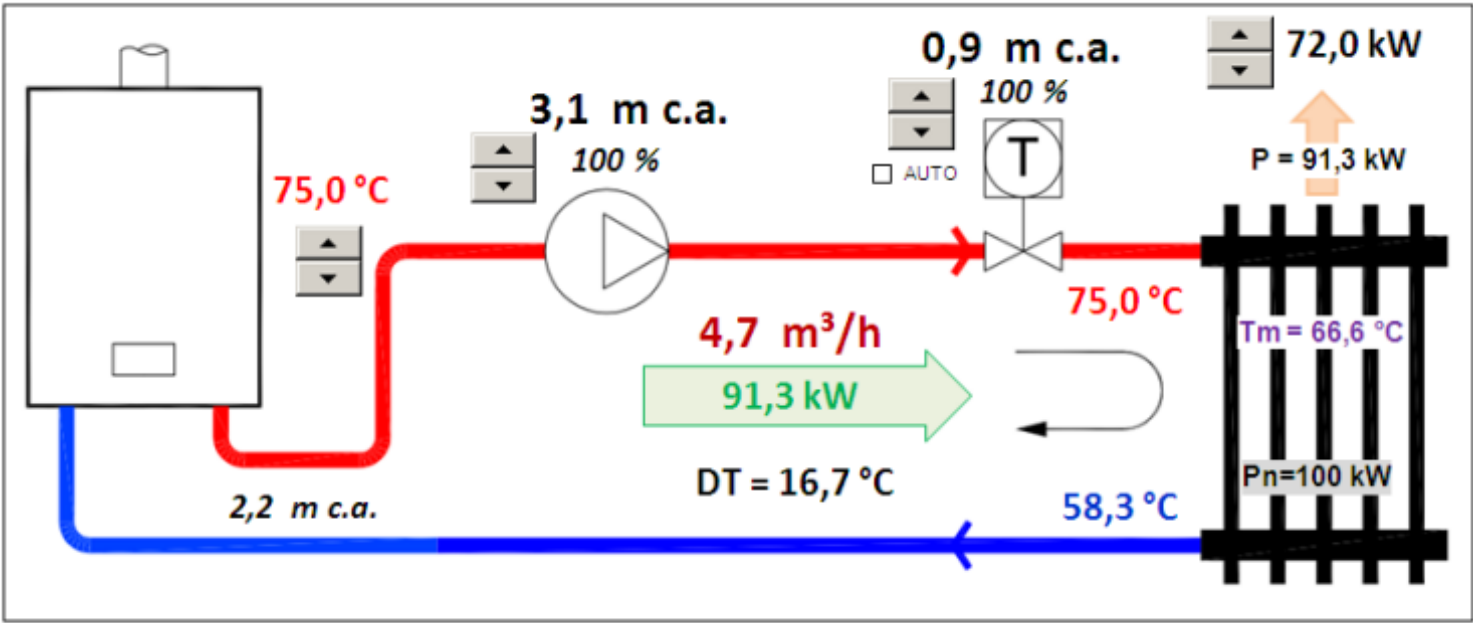
Ai carichi elevati, il limite di temperatura di mandata causa un aumento della portata  
Calcolo vero a regime: nei transitori le portate aumentano (avviamento) o diminuiscono (forti apporti gratuiti)



24/06/2019

Condensazione

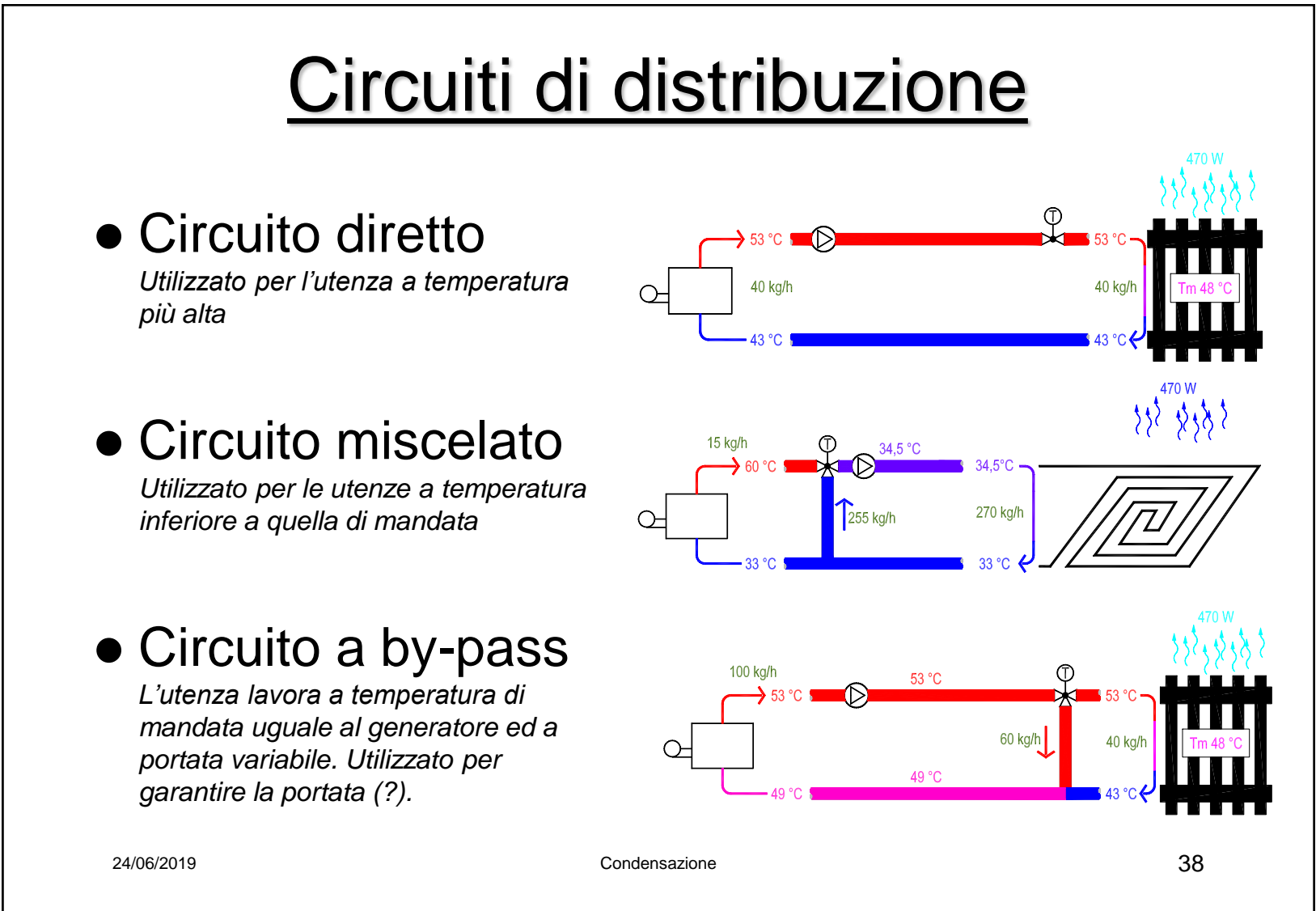
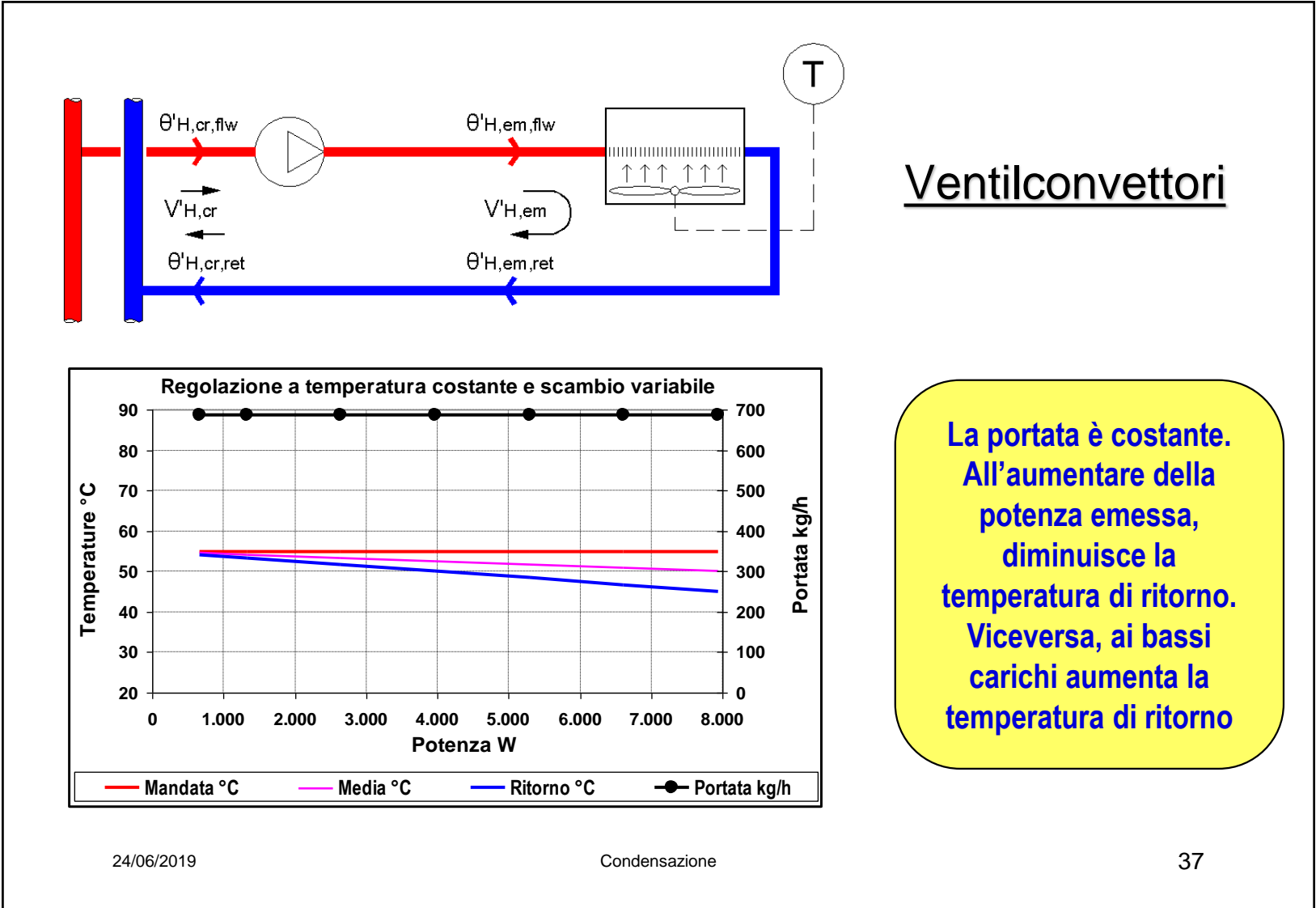
35



24/06/2019

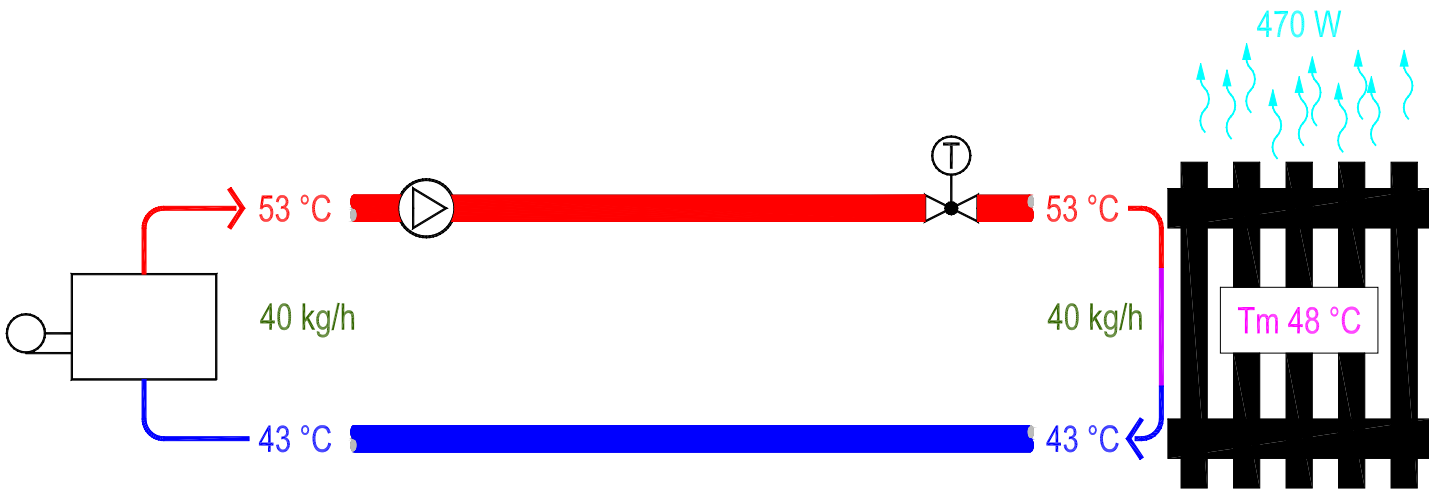
Condensazione

36



### Circuito di distribuzione diretto.

Le temperature agli emettitori ed al collettore di distribuzione sono identiche



👍: Condensazione OK

👎: Possibile 1 sola temperatura di mandata per tutte le utenze

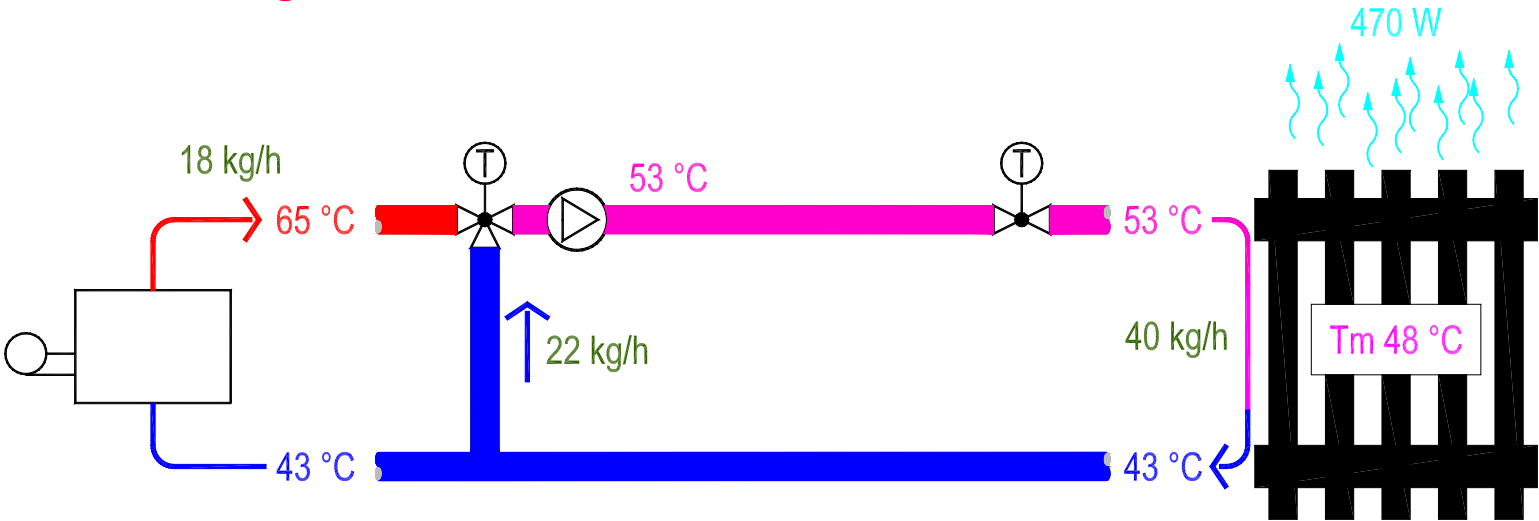
24/06/2019

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

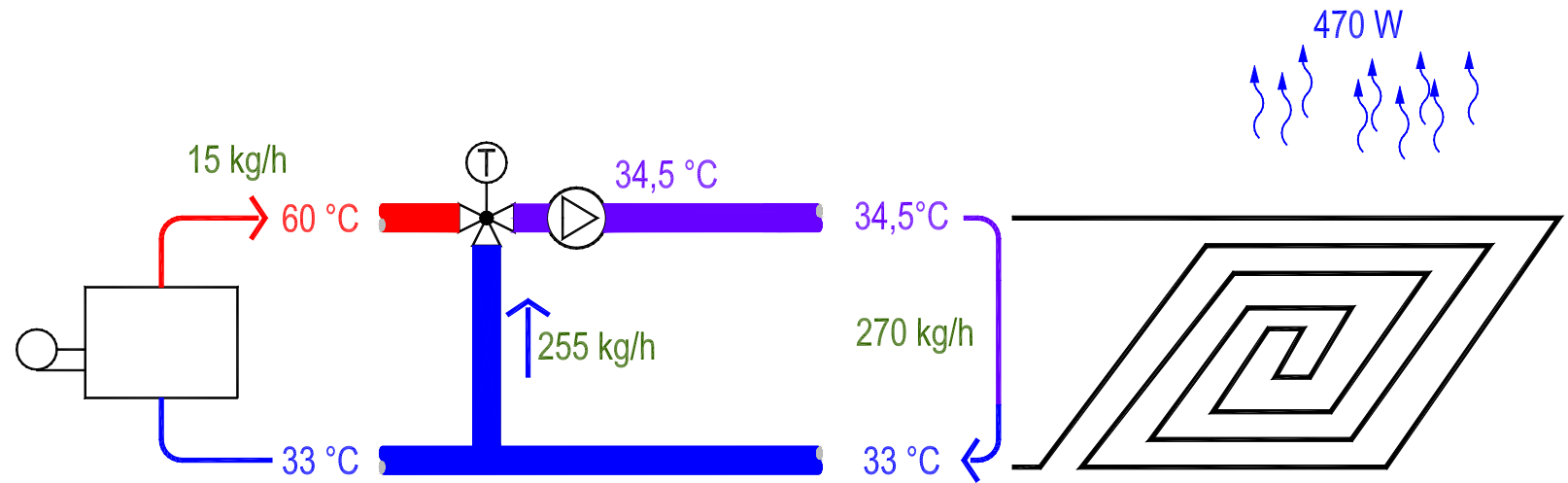
Condensazione

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  $\Delta T$  è sicuramente elevato.  
Caso tipico: utenze miste a bassa ed alta temperatura (pannelli + scaldasalviette in bagno o acqua calda sanitaria)



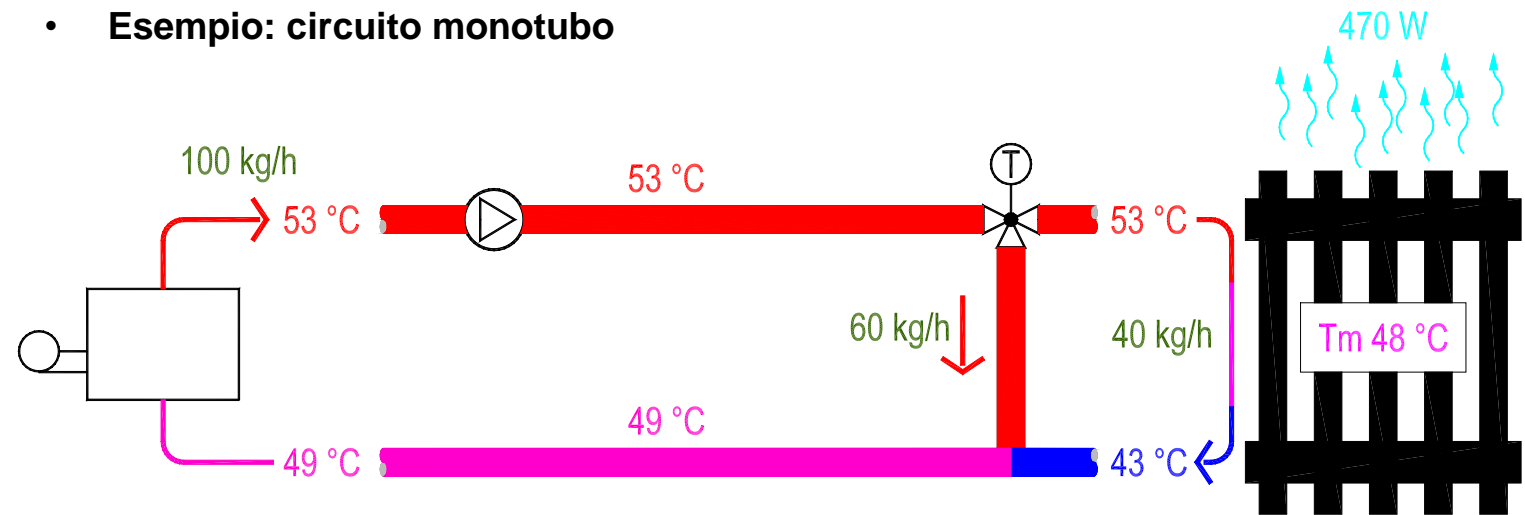
24/06/2019

Condensazione

41

**Circuito di distribuzione a by-pass**

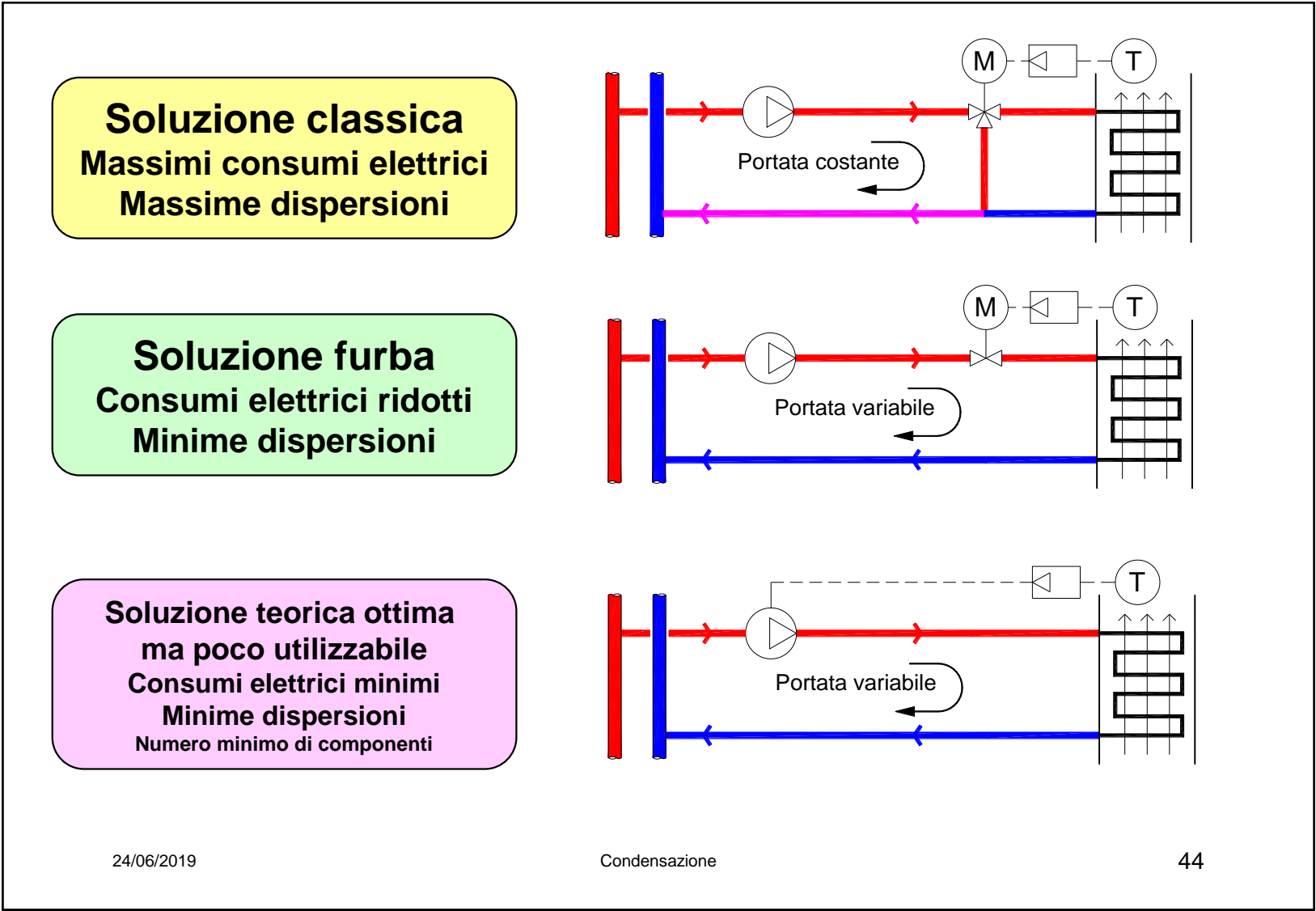
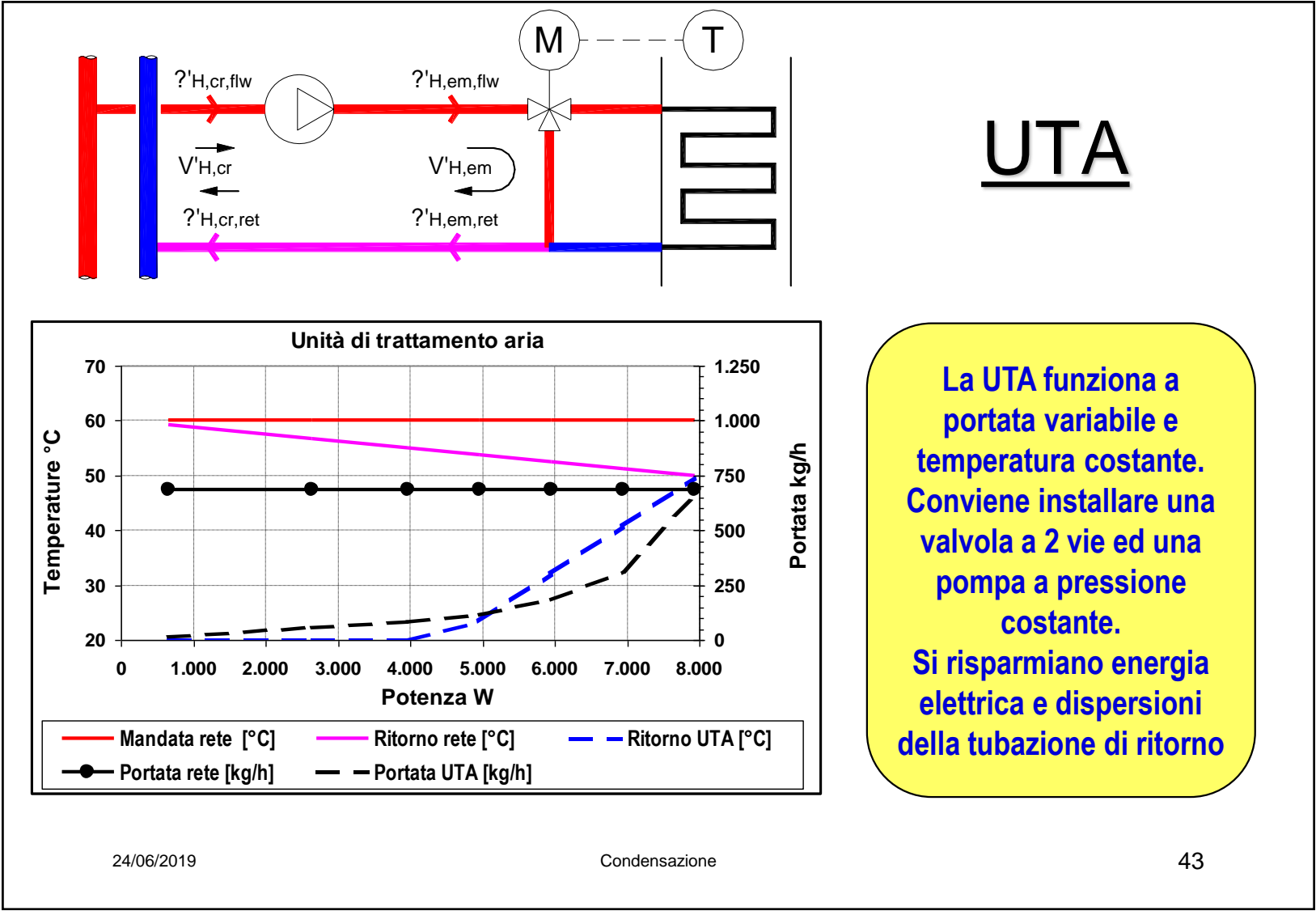
- La temperatura di mandata agli emettitori è uguale alla temperatura di mandata dal collettore
- **CONDENSAZIONE KO:** La temperatura di ritorno al collettore è maggiore della temperatura di ritorno dagli emettitori
- **CALDAIA OK:** La portata prelevata dal collettore è superiore alla portata circolante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



24/06/2019

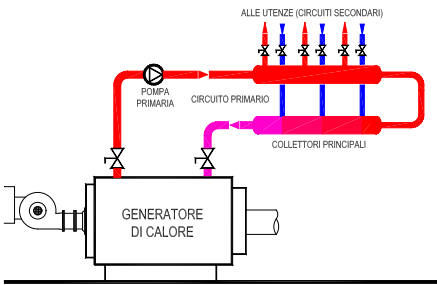
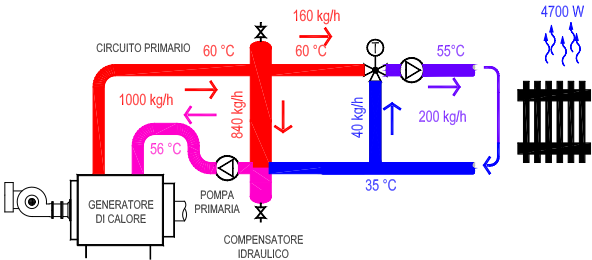
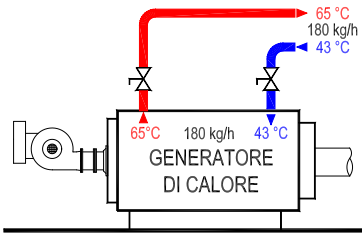
Condensazione

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*



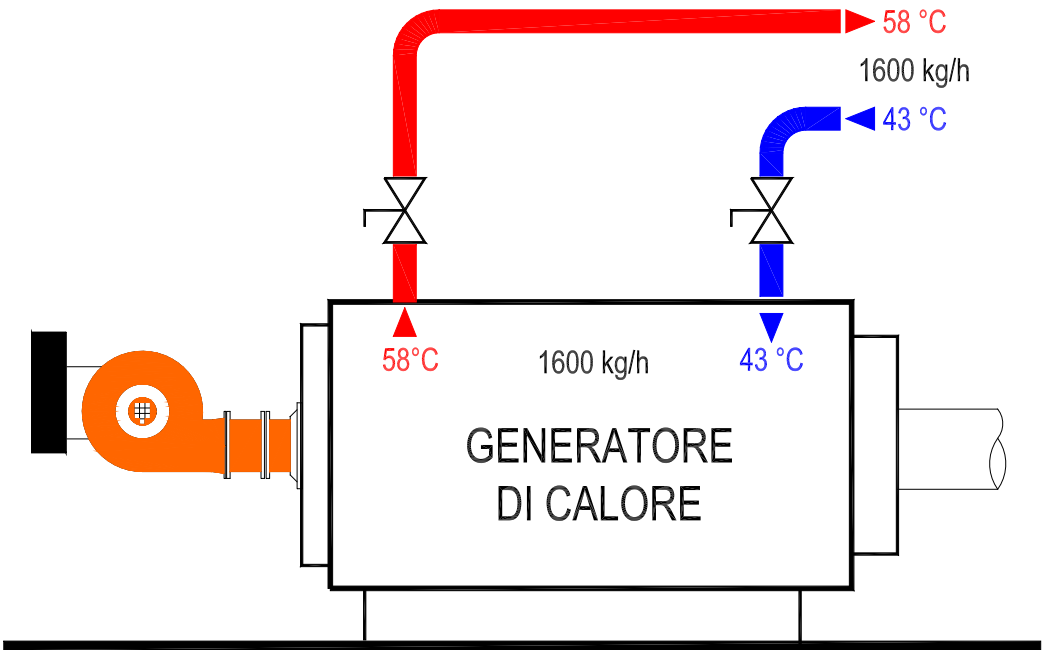
24/06/2019

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

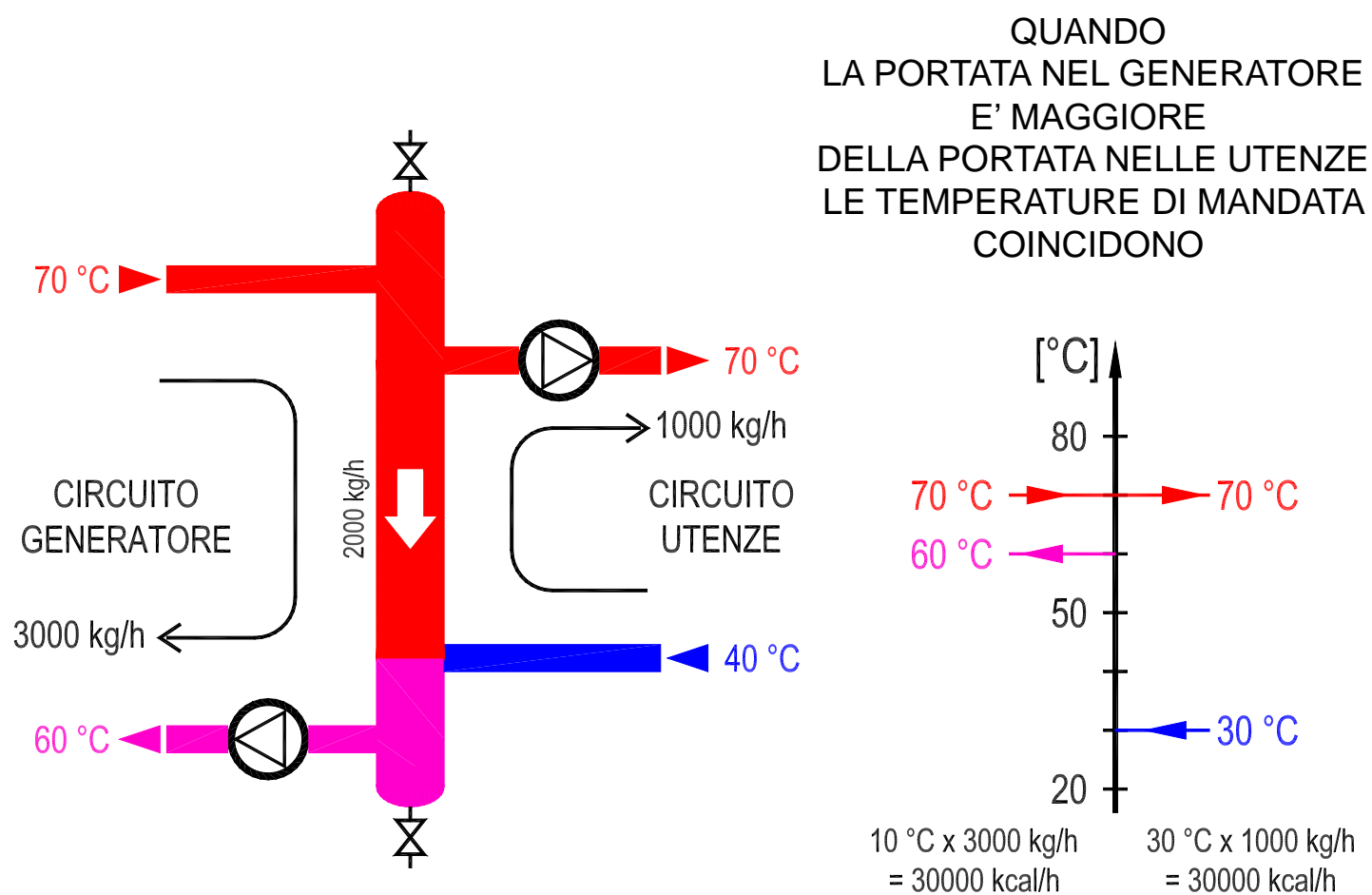
- **Portata generatore**
  - Se indipendente → dato di progetto (circuito primario)
  - Con anticondensa → portata utenza + portata pompa
- **$\Delta T$  generatore** = potenza erogata / portata
- Se portata generatore > portata utenze
  - T mandata generatore = T mandata utenza
  - T ritorno generatore = T mandata –  $\Delta T$  generatore
- Se portata generatore < portata utenze
  - T ritorno generatore = T ritorno utenza
  - T mandata generatore = T ritorno +  $\Delta T$  generatore



24/06/2019

Condensazione

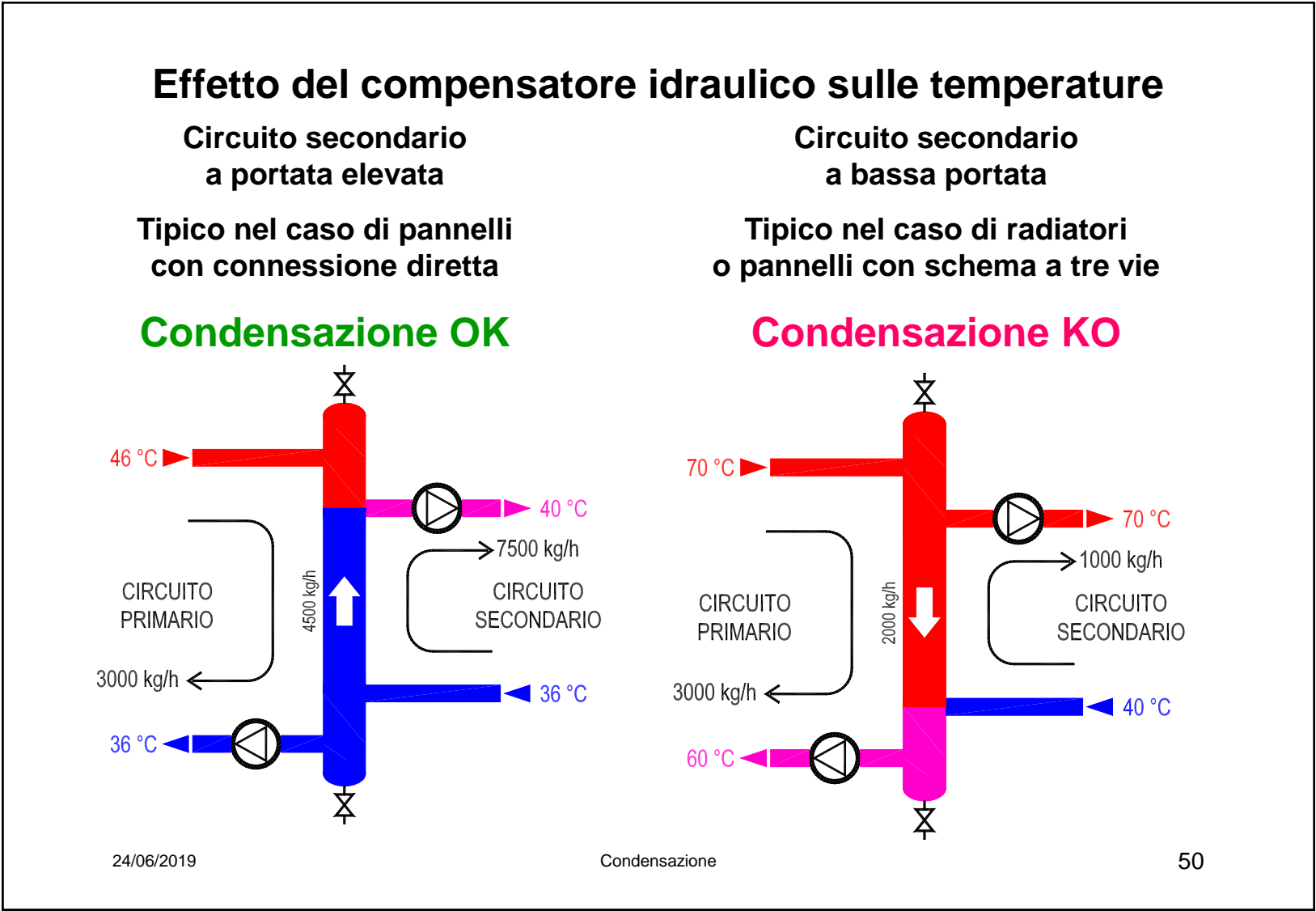
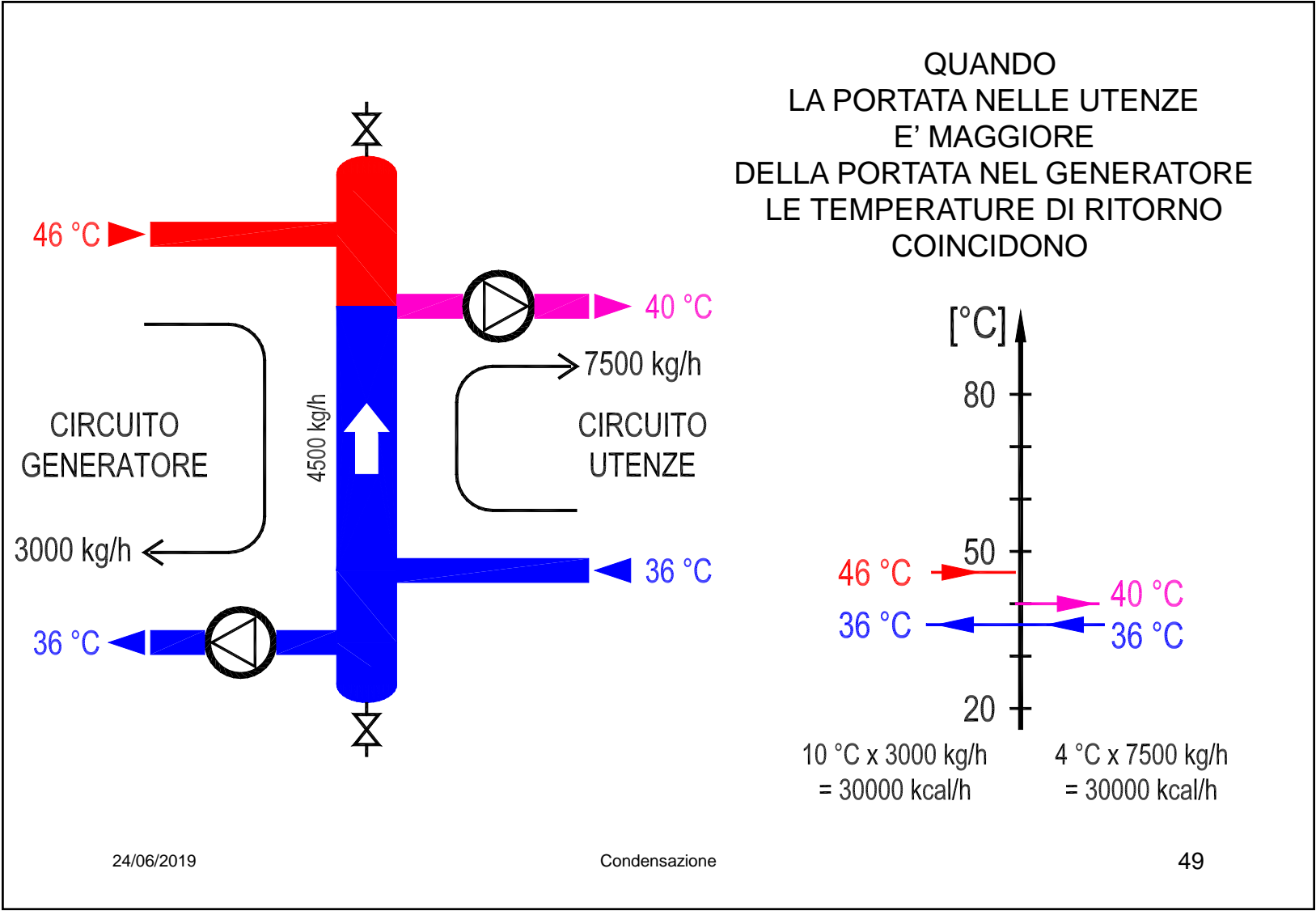
47



24/06/2019

Condensazione

48



**Il compensatore idraulico permette di mantenere il controllo della portata nei generatori al variare del numero di moduli in funzione**

**... purchè controllo ci sia ...**

24/06/2019

Condensazione

51

### Circuito di generazione con pompa primaria

- La portata circolante nel generatore è determinata dalle caratteristiche della pompa primaria
- La temperatura di ritorno in caldaia è maggiore della media delle temperature di ritorno dei circuiti di distribuzione
- La temperatura di ritorno in caldaia è massima ai minimi carichi

**E' esattamente come avere un compensatore idraulico...**

**... ma avendo stacchi indipendenti c'è il rischio di circolazioni anomale in caso di riduzione della portata della pompa primaria ...**

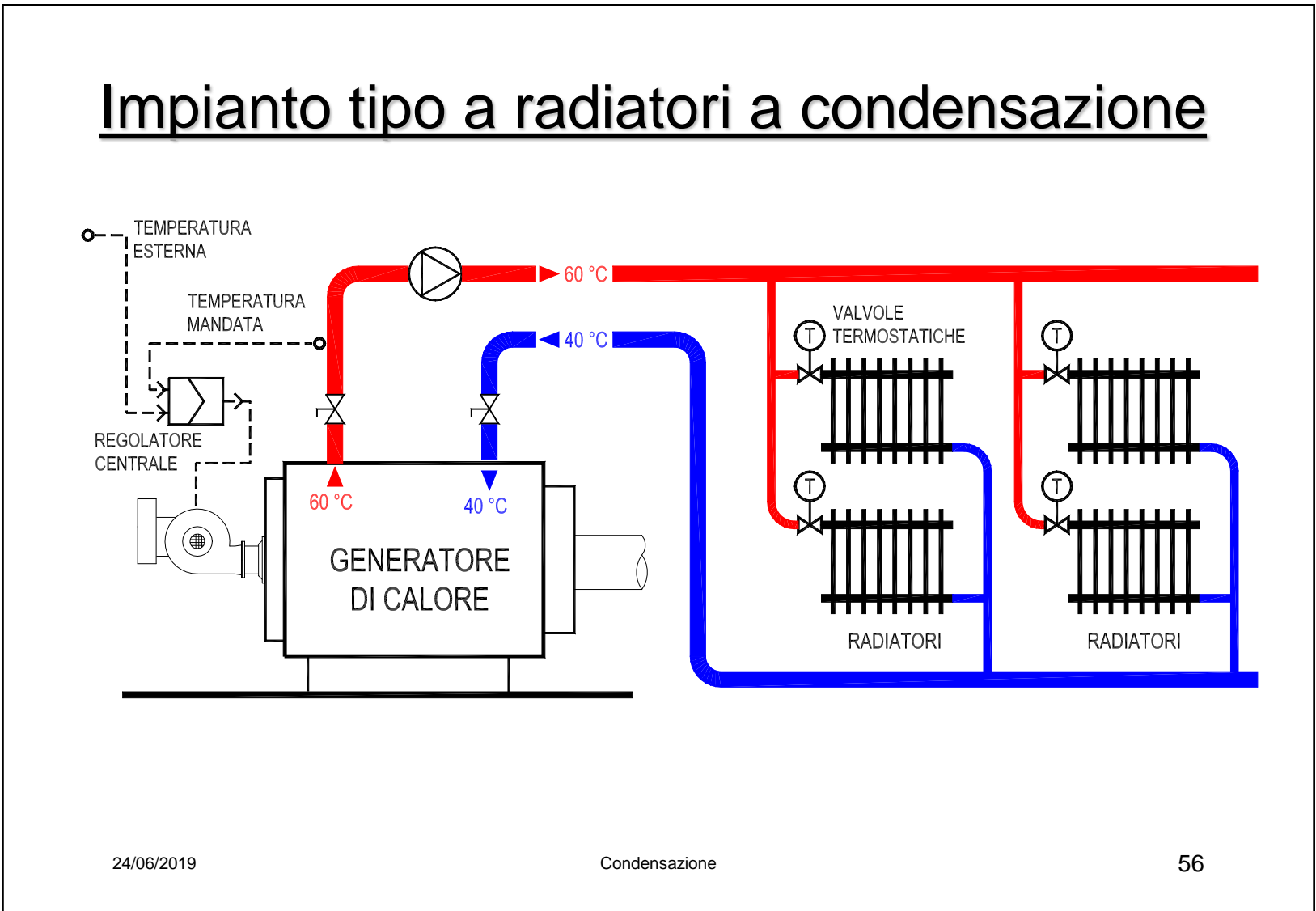
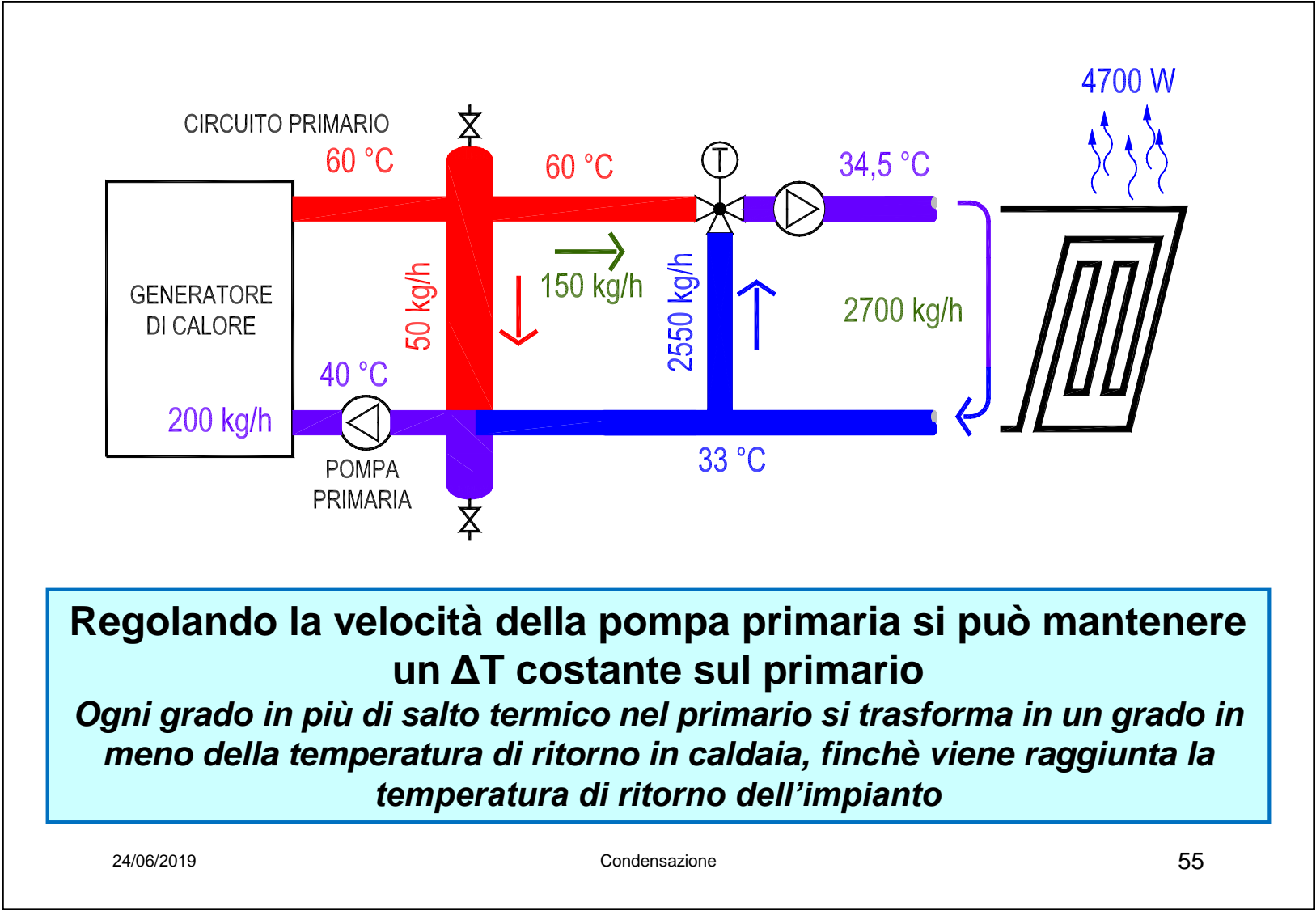
24/06/2019

Condensazione

52







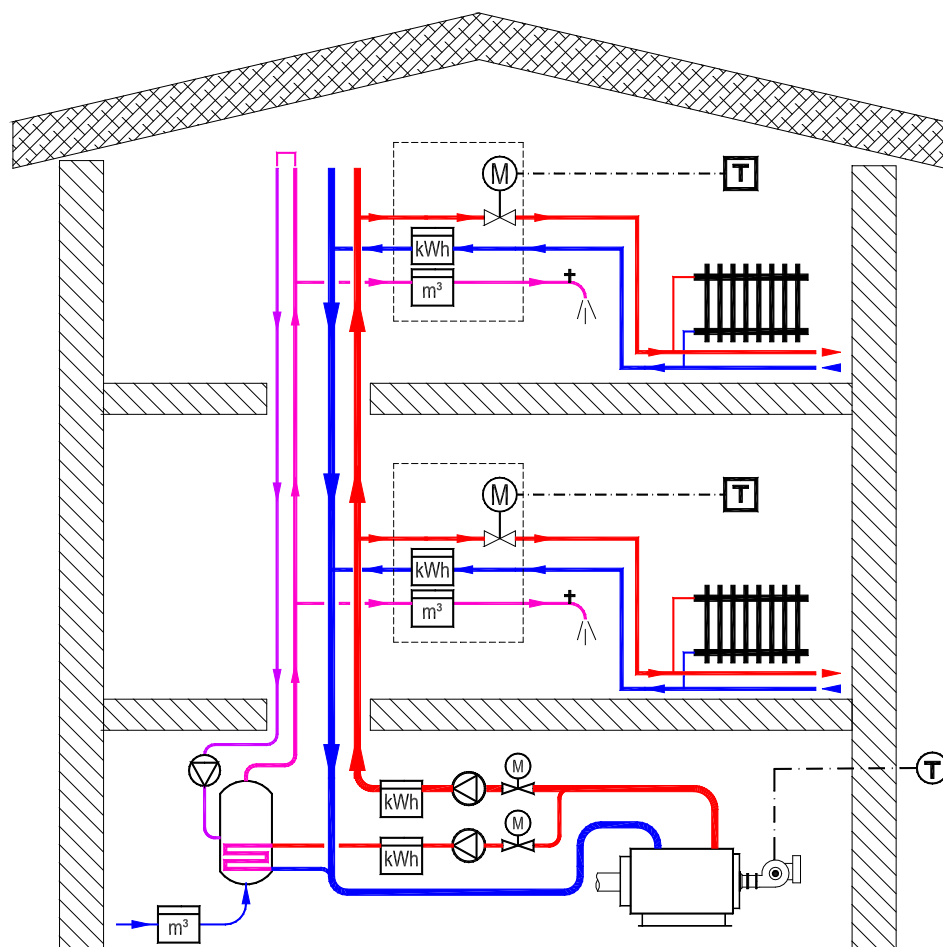
## La progettazione di un impianto a condensazione

- 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 temperatura 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



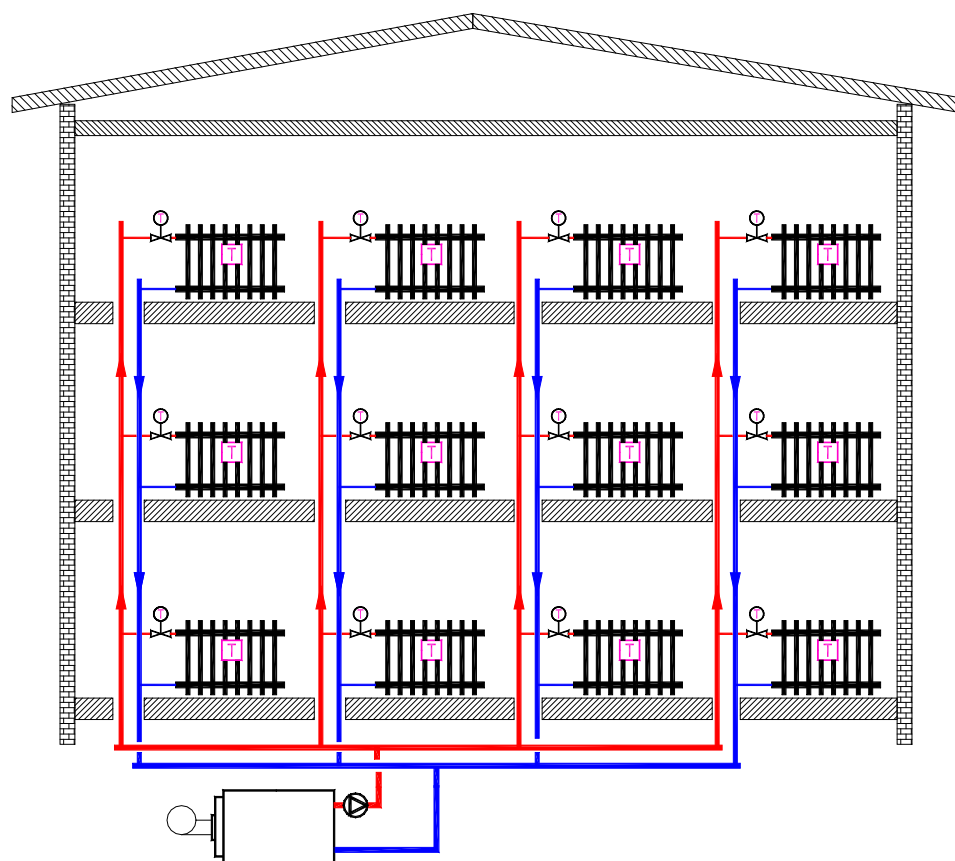
24/06/2019

Condensazione

58

### **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



### 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.**

24/06/2019

Condensazione

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