

COMANDO IN SEQUENZA DI PIU' CALDAIE NORMALI O A CONDENSAZIONE, CON BRUCIATORI MODULANTI O NORMALI

1. SCOPO DELLA NOTA

Questa nota espone i principi teorici e pratici per ottimizzare il rendimento energetico (soprattutto stagionale) di più caldaie operanti in sequenza.

Il rendimento energetico stagionale è il rendimento globale, mediato durante tutta la stagione, del sistema di caldaie: indica il rapporto fra le calorie totali fornite in una stagione all'impianto e la quantità di combustibile bruciato, sempre totale nella stagione.

2. LE CALDAIE IN SEQUENZA : PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La strategia migliore del comando in sequenza consente la ripartizione fra più caldaie della richiesta di potenza da parte dell'impianto utilizzatore del calore (Pr), in modo che in ogni istante sia ottimizzato il rendimento energetico del sistema.

Per chiarire meglio questa strategia si usa un esempio di impianto con :

- n. 3 caldaie
- potenza massima della singola caldaia = 100 Kw
- potenza totale = $3 \times 100 = 300$ Kw

La sequenza viene sempre pilotata dal regolatore (PI) del collettore, che genera una grandezza regolante totale (GRT).

Il valore di GRT (normalizzato a 100) rappresenta in ogni istante la potenza necessaria per mantenere il collettore alla temperatura di mandata voluta (Tcv).

- Potenza richiesta = 0 GRT = 0
- Potenza richiesta = 300 Kw GRT = 100

La potenza, in ogni momento richiesta dall'impianto di riscaldamento, viene suddivisa fra le caldaie, assegnando direttamente o indirettamente la quota che ognuna deve erogare in ogni momento. Anche la potenza della singola caldaia viene espressa in grandezza regolante particolare (GRP), sempre normalizzata a 100.

La potenza, in ogni momento richiesta dall'impianto di riscaldamento, può essere suddivisa fra le tre caldaie in molti modi, che dipendono da moltissimi fattori che verranno esaminati in questa nota.

3. LE CALDAIE A CONDENSAZIONE: RAPIDO ACCENNO

Le caldaie a condensazione sono senz'altro quelle che più si affermeranno nel prossimo futuro vista l'alta efficienza che può avere questo sistema.

Le caldaie a condensazione rendono tanto più quanto più :

- è bassa la temperatura dei fumi
- è bassa la temperatura di mandata
- e soprattutto quanto più è bassa la temperatura di ritorno.

Gli indici di guadagno sul rendimento possono essere riassunti in maniera semplice nel seguente modo:

- per ogni 20 gradi in meno della temperatura dei fumi = 1% in più di rendimento, quando la temperatura dei fumi supera i 60 °C circa (non è presente la condensazione)
- quando la temperatura dei fumi è inferiore a 60°C accanto al guadagno di cui sopra si deve aggiungere anche il guadagno dovuto alla condensazione : questo guadagno è all'incirca 0,33% per grado centigrado in meno della temperatura dei fumi
- la temperatura dei fumi si mantiene tanto più bassa, quanto più bassa è la mandata e quanto più è "buona" la caldaia: questa "bontà" si esprime nella differenza fra fumi e ritorno caldaia, al 100% del carico nominale. Questo dato è il dato fondamentale che esprime la qualità della caldaia. Una caldaia di "buona qualità", ha una differenza fumi/ritorno di circa 10 °C, quando eroga il 100% della potenza nominale.

QUESTE CIFRE SONO INDICATIVE e si riferiscono a caldaie a condensazione con bruciatori a gas. Un'analisi più approfondita del comportamento delle caldaie a condensazione è fatta al paragrafo 16 di questa nota.

4. DIVISIONE DELLA POTENZA FRA LE CALDAIE CON SEQUENZA A POTENZA MASSIMA (NON PARITARIA)

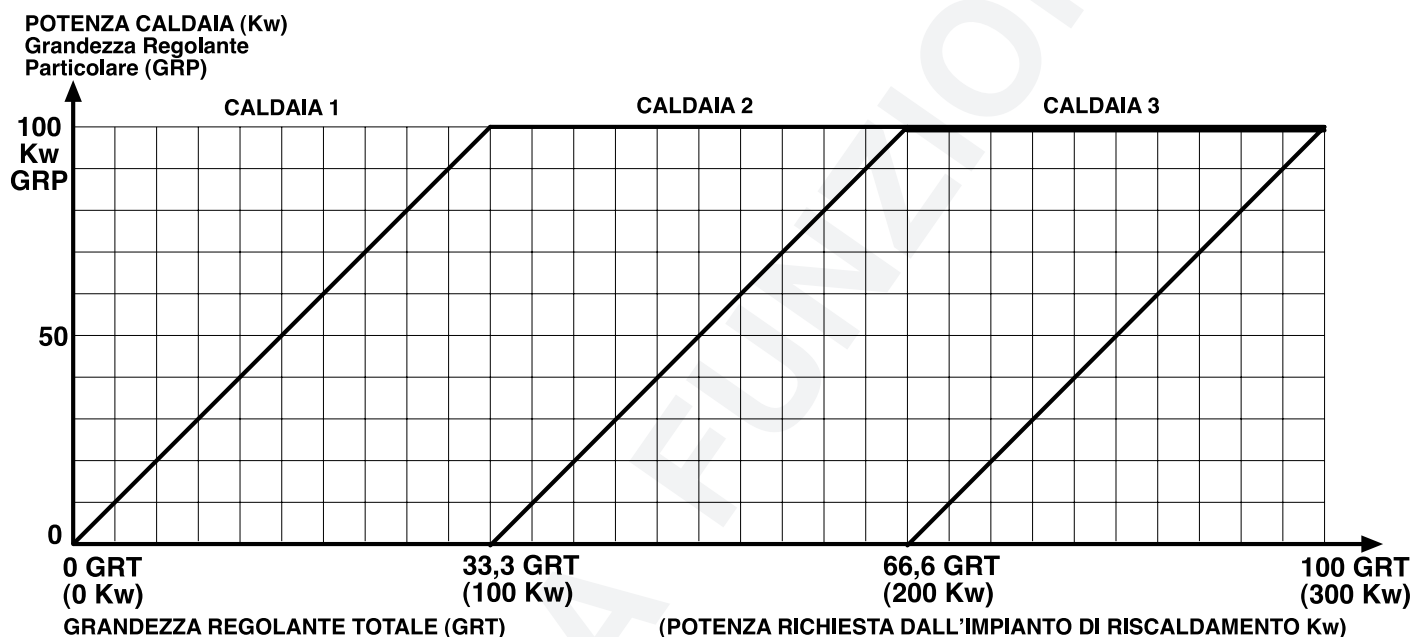
La potenza richiesta dall'impianto di utilizzo del calore viene divisa in modo non paritario fra le varie caldaie

Nell'esempio già fatto:

Potenza richiesta (Pr) = da 0 a 100 Kw	Prima caldaia = modula da 0 a 100 Kw Seconda caldaia = spenta Terza caldaia = spenta
Potenza richiesta da 100 a 200 Kw	Prima caldaia = eroga 100 Kw fissi Seconda caldaia = modula da 0 a 100 Kw Terza caldaia = spenta
Potenza richiesta da 200 a 300 Kw	Prima caldaia = eroga 100 Kw fissi Seconda caldaia = eroga 100 Kw fissi Terza caldaia = modula da 0 a 100 Kw

Come si vede prima di accendere la caldaia successiva si aspetta che la precedente vada al massimo della potenza, che viene mantenuta fissa per tutto il resto della sequenza.

La sequenza discendente è perfettamente uguale a quella ascendente.



Il diagramma rappresenta la potenza istantanea per ogni caldaia :

- ogni caldaia modula da 0 al 100% nella sua zona di competenza restando poi al 100% per zone superiori.
- in ogni istante la somma delle potenze istantanee delle singole caldaie rappresenta la potenza richiesta.
- questo tipo di diagramma rappresenta il funzionamento di controllo con SEQUENZA A POTENZA MASSIMA: la distribuzione della potenza fra le varie caldaie non è assolutamente paritaria

Per realizzare la sequenza non paritaria è sufficiente dividere in parti uguali GRT, assegnarne ogni parte ad una caldaia e pilotarla, usando direttamente GRP, che in ogni istante è proporzionale alla potenza che deve erogare la caldaia.

Con questo tipo di sequenza le temperature all'uscita delle singole caldaie possono essere notevolmente diverse: la temperatura del collettore sarà la media di queste mandate, poichè l'acqua delle singole caldaie si mescola tutta insieme per generare l'acqua del collettore.

Le temperature delle varie caldaie differiscono anche notevolmente poichè ognuna scalderebbe l'acqua di ritorno (con temperatura uguale per tutte) con un aumento di temperatura proporzionale alla potenza erogata. Si suppone che le singole caldaie, una volta aperta la valvola di intercettazione, si ripartiscano il flusso in maniera pressoché uguale.

Le differenze di ripartizione, fino al 20 / 30% fra le varie caldaie, dovute a un impianto idraulico non perfettamente equilibrato, hanno relativamente poca influenza.

SEQUENZA A POTENZA MASSIMA = POTENZE NON PARITARIE = TEMPERATURE MANDATA DIVERSE

4.1 VARIAZIONE DI POTENZA RICHIESTA A FLUSSO COSTANTE CON SEQUENZA A POTENZA MASSIMA (NON PARITARIA)

La potenza richiesta dall'impianto di utilizzo del calore viene divisa in modo non paritario fra le varie caldaie

$$\text{Potenza richiesta (Pr)} = K \times (T_{mt} - T_{rt}) \times Q \quad \text{dove}$$

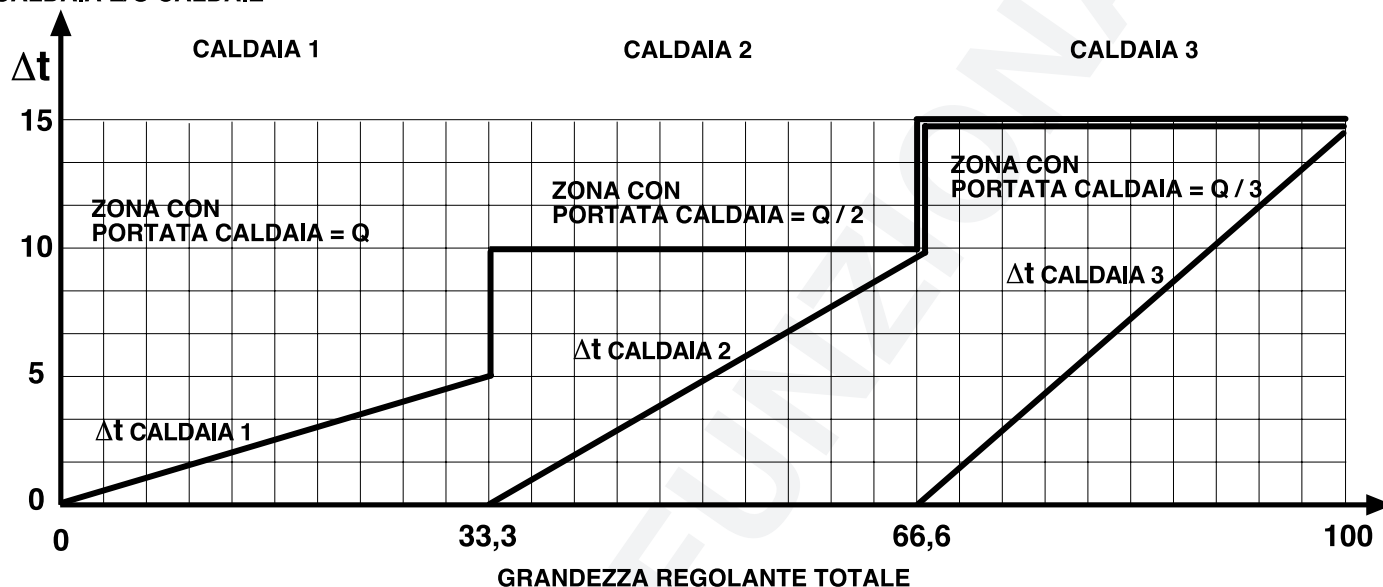
K = coefficiente T_{mt} = T. mandata collettore T_{rt} = T. ritorno collettore Q = portata costante

La portata Q è considerata costante, e comunque decisa dall'impianto di utilizzazione.

Si considera che l'impianto sia dotato di valvole di intercettazione e che la portata si ripartisca fra le caldaie chiamate dalla sequenza in maniera sufficientemente bilanciata.

Nell'esempio del diagramma sottostante, quando l'impianto chiede potenza "0" non c'è differenza fra temperatura di mandata e ritorno, e quando la potenza richiesta è massima la differenza è di 15 °C.

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA
FRA MANDATA E RITORNO
CALDAIA E/O CALDAIE**



Con GRT = da 0 a 33,3 tutta la portata Q è sostenuta dalla CALDAIA 1, la quale sarà capace da sola, di alzare la temperatura di 5 °C; infatti la potenza della caldaia è un terzo, della potenza totale dell'impianto.

da 33,3 a 66,6 la portata è sostenuta dalle CALDAIE 1 e 2 in maniera uguale (o circa); ogni caldaia ha metà portata (Q / 2). La caldaia numero 1 che resta a massima potenza, potrà così alzare la temperatura del doppio. La caldaia numero 2 modula la potenza da 0 a 100% in base alla richiesta. Al collettore le portate delle due caldaie si miscelano per dare la temperatura voluta.

da 66,6 a 100 la portata è sostenuta dalle CALDAIE 1, 2 e 3 in maniera uguale (o circa); questa portata è pari a Q / 3. Con una portata di un terzo ogni singola caldaia sarà in grado di alzare la temperatura di 15 °C.

Come si vede il diagramma della potenza della singola caldaia ($Q \times (T_{mt} - T_{rt})$), è esattamente quello descritto nella divisione a SEQUENZA A POTENZA MASSIMA (NON PARITARIA).

Con il comando a sequenza non paritaria, esiste una differenza fra la temperatura di mandata delle caldaie che, nell'esempio, al massimo è pari a 15°C (è la differenza di temperatura fra mandata e ritorno impianto). La miscela dell'acqua delle varie caldaie genera una temperatura al collettore, che è quella voluta dalla regolazione.

Si può concludere che una gestione in SEQUENZA A POTENZA MASSIMA impone alle caldaie temperature di mandata che possono essere anche notevolmente diverse fra di loro.

Facendo riferimento al paragrafo 3, circa le caldaie a condensazione, una differenza di 15°C sulla temperatura di mandata porterebbe a una differenza di rendimento del 4,5% fra una caldaia e l'altra; quella che rende di meno è quella che sta bruciando più combustibile, poiché è a potenza e temperatura più elevata.

Questo tipo di sequenza non è il più adatto alle caldaie a condensazione, salvo casi particolari che verranno accennati più avanti.

5. DIVISIONE DELLA POTENZA FRA LE CALDAIE CON SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (PARITARIA)

La potenza richiesta dall'impianto di utilizzo del calore viene divisa in modo paritario fra le varie caldaie

Nell'esempio già fatto:

– Potenza richiesta (P_r) = da 0 a 100 Kw

Prima caldaia = modula da 0 a 100 Kw
Seconda caldaia = spenta
Terza caldaia = spenta

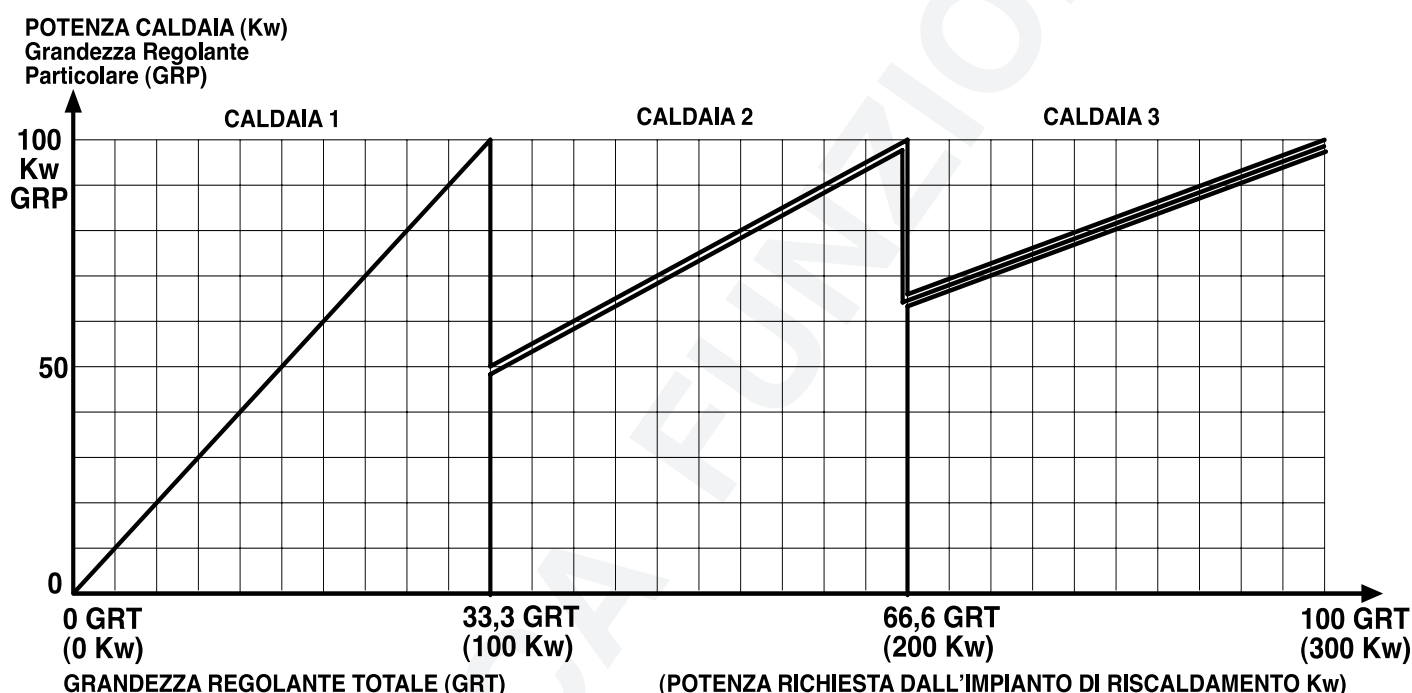
Potenza richiesta da 100 a 200 Kw

Prima caldaia = modula da 50 a 100 Kw
Seconda caldaia = modula da 50 a 100 Kw
Terza caldaia = spenta

Potenza richiesta da 200 a 300 Kw

Prima caldaia = modula da 66,6 a 100 Kw
Seconda caldaia = modula da 66,6 a 100 Kw
Terza caldaia = modula da 66,6 a 100 Kw

Come si vede prima di accendere la caldaia successiva si aspetta che la precedente vada al massimo della potenza. Le caldaie accese insieme si ripartiscono la potenza in maniera paritaria. La sequenza discendente è perfettamente uguale a quella ascendente.



Il diagramma rappresenta la potenza istantanea per ogni caldaia :

- in ogni istante la somma delle potenze istantanee delle singole caldaie rappresenta la potenza richiesta.
- questo tipo di diagramma rappresenta il funzionamento a SEQUENZA CON POTENZA RIPARTITA
- quando due o più caldaie debbono fornire potenza, perchè le precedenti non ce la fanno, vanno tutte con la stessa potenza.

La perfetta ripartizione della potenza totale richiesta dall'impianto, in parti uguali, dipende dalla perfetta ripartizione del flusso : gli errori in questa ripartizione si ripercuotono in maniera proporzionale in differenze di potenza della singola caldaia.

La temperatura di ritorno è uguale per tutte le caldaie e la temperatura di mandata è ancora uguale per tutte le caldaie (salvo piccole differenze dovute a errori di sonde).

SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA = POTENZE PARITARIE = TEMPERATURE MANDATA UGUALI

5.1 VARIAZIONE DI POTENZA RICHIESTA A FLUSSO COSTANTE CON SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (PARITARIA)

La potenza richiesta dall'impianto di utilizzo del calore viene divisa in modo paritario fra le varie caldaie

Questo caso è corrispondente ad un impianto di riscaldamento diretto senza valvola miscelatrice, con tutti i radiatori costantemente aperti e la temperatura di mandata modulata in climatica.

$$\text{Potenza richiesta (Pr)} = K \times (T_{mt} - T_{rt}) \times Q \quad \text{dove}$$

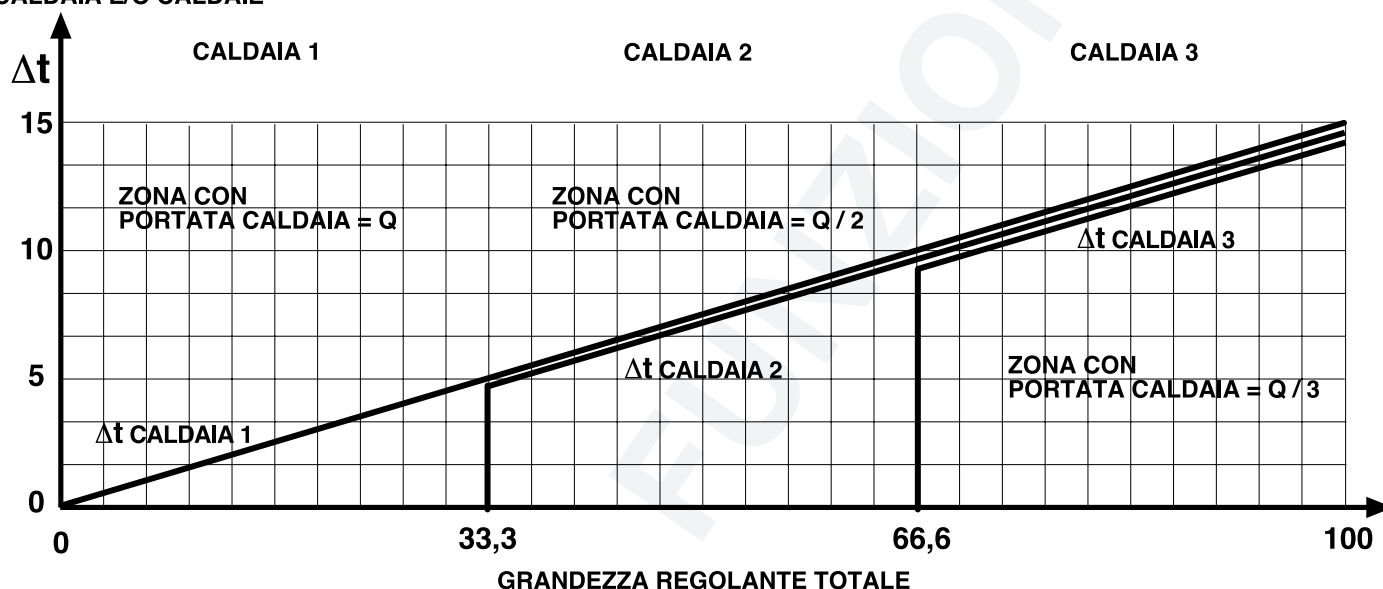
$$K = \text{coefficiente} \quad T_{mt} = T. \text{ mandata collettore} \quad T_{rt} = T. \text{ ritorno collettore} \quad Q = \text{portata costante}$$

La portata Q è considerata costante, e comunque decisa dall'impianto di utilizzazione.

Si considera che l'impianto sia dotato di valvole di intercettazione e che la portata si ripartisca fra le caldaie chiamate dalla sequenza in maniera sufficientemente bilanciata.

Nell'esempio del diagramma sottostante, quando l'impianto chiede potenza "0" non c'è differenza fra temperatura di mandata e ritorno, e quando la potenza richiesta è massima la differenza è di 15 °C.

**DIFFERENZA DI TEMPERATURA
FRA MANDATA E RITORNO
CALDAIA E/O CALDAIE**



Con GRT = da 0 a 33,3 tutta la portata Q è sostenuta dalla CALDAIA 1, la quale sarà capace da sola, di alzare la temperatura di 5 °C; infatti la potenza della caldaia è un terzo, della potenza totale dell'impianto. Si può notare che quando è chiamata un'unica caldaia non cambia nulla rispetto al diagramma precedente.

da 33,3 a 66,6 la portata è sostenuta dalle CALDAIE 1 e 2 in maniera uguale (o circa); ogni caldaia ha metà portata (Q / 2).

Le caldaie 1 e 2 avendo la stessa temperatura di ritorno del collettore e alzando la temperatura in ogni momento della stessa quantità, erogheranno acqua a temperatura uguale; essendo inoltre anche la portata uguale fra due caldaie, anche la potenza sarà uguale.

da 66,6 a 100 la portata è sostenuta dalle CALDAIE 1, 2 e 3 in maniera uguale (o circa); questa portata è pari a Q / 3. Si può ripetere il ragionamento fatto con 2 caldaie, estendendolo a 3.

Come si vede il diagramma della potenza della singola caldaia ($Q \times (T_{mt} - T_{rt})$), è esattamente quello descritto nella divisione a SEQUENZA CON POTENZA RIPARTITA Paragrafo 5.

Una sequenza che mantenga in ogni momento la temperatura di mandata uguale fra tutte le caldaie, è certamente la sequenza più adatta per le caldaie a condensazione.

Tutte le caldaie interessate in quel momento erogano la stessa potenza alla stessa temperatura ottimizzando in ogni istante il rendimento.

6. VARIAZIONE DI POTENZA RICHIESTA DOVUTA SIA A FLUSSO VARIABILE CHE A TEMPERATURA VARIABILE COMBINATI FRA DI LORO

Nei casi reali si avrà in generale una combinazione di flussi variabili e contemporaneamente di temperature variabili, che insieme generano la variazione di potenza richiesta dall'impianto di riscaldamento.

Il diagramma relativo starà fra i due diagrammi limite prima illustrati e perciò avrà le stesse caratteristiche massime rappresentate da questi diagrammi limite.

7. STRATEGIA PARTICOLARE PER I BRUCIATORI, NON IN PRIMA POSIZIONE NELLA SEQUENZA

E' necessario prevedere una strategia particolare per tutti i bruciatori, non primi in sequenza, per permettere la modulazione continua (se modulante) o a gradini (se a 2 stadi) del bruciatore precedente.

E' preferibile modulare il secondo stadio o la potenza del primo bruciatore nella sequenza, invece di spegnere completamente il secondo bruciatore, poichè frequenti riaccensioni del secondo costano, in termini energetici, più della modulazione del primo.

Per ottenere questa strategia particolare si vedrà in seguito che è sufficiente lo spegnimento del bruciatore nella zona di pertinenza del bruciatore precedente (intorno al 45% della grandezza regolante particolare del bruciatore precedente).

Esempio con 2 caldaie : una a 2 stadi e una a 1 stadio

Potenza in aumento :

- | | |
|--|-----------------|
| – Prima caldaia SPENTA, seconda caldaia SPENTA | POTENZA ZERO |
| – Prima caldaia PRIMO STADIO, seconda caldaia SPENTA | |
| – Prima caldaia PRIMO e SECONDO STADIO, seconda caldaia SPENTA | |
| – Prima caldaia PRIMO e SECONDO STADIO, seconda caldaia ACCESA | POTENZA MASSIMA |

Potenza in diminuzione :

- | | |
|--|-----------------|
| – Prima caldaia PRIMO e SECONDO STADIO, seconda caldaia ACCESA | POTENZA MASSIMA |
| – Prima caldaia PRIMO STADIO, seconda caldaia ACCESA | |
| – Prima caldaia PRIMO STADIO, seconda caldaia SPENTA | |
| – Prima caldaia SPENTA, seconda caldaia SPENTA | POTENZA ZERO |

In pratica si lascia operare il secondo stadio del primo bruciatore invece che, accendere e spegnere il secondo bruciatore a uno stadio.

Riassumendo, tutti i bruciatori hanno il punto di spegnimento totale che può essere scelto in due modi :

- PUNTO DI OFF = NORMALE = 0% di GRP (Grandezza Regolante Particolare)
- PUNTO DI OFF = OTTIMIZZATO = 45% di GRP (Grandezza Regolante Particolare) della zona antecedente la sua zona. Se il bruciatore è primo in sequenza i due punti coincidono con quello NORMALE.

Il valore di 45% è scelto come punto che sta normalmente al di sopra della potenza minima di un bruciatore modulante (quando va On-Off) e sotto lo spegnimento del secondo stadio di un bruciatore a due stadi.

Come si vedrà lo spegnimento del secondo stadio del bruciatore a due stadi, viene fatto intorno al 65% della Grandezza Regolante Particolare (GRP).

8. CRITERI DIVERSI PER LA SEQUENZA

I criteri di comando del singolo bruciatore rappresentano il modo di convertire la grandezza regolante particolare di quel bruciatore in comandi veri e propri da inviare al bruciatore stesso : è in pratica il passaggio dalla grandezza regolante particolare, all'attuazione vera e propria.

Tutte le spiegazioni seguenti sono relative ad un sistema a due caldaie; i sistemi con più di due caldaie sono un'estensione ovvia di quello a due.

I criteri di sequenza per la singola caldaia vengono stabiliti dalla scelta dei parametri contenuti in due pagine del menù 5. BRUCIATORE + CALDAIA di FTC 738 e XTC 638.

Pagina 5.1.0 **Potenza Caldaia**
MASSIMA = si sceglie se la gestione della caldaia IN SEQUENZA deve essere :

MASSIMA=la prima caldaia resta sempre a potenza massima quando non ce la fa da sola (SEQUENZA NON PARITARIA).
RIPARTITA = la prima caldaia, quando non ce la fa da sola, va a potenza % uguale alla seconda caldaia, ripartendo così la potenza totale richiesta in maniera paritaria(SEQUENZA PARITARIA).

Pagina 5.2.0 **Punto di Off**
NORMALE In questa pagina si sceglie la strategia particolare del bruciatore (par. 1.5).

NORMALE = la seconda caldaia viene spenta non appena prima caldaia ce la fa da sola.

OTTIMIZZATO = prima di spegnere la seconda caldaia si lascia modulare il bruciatore della prima, se è modulante, oppure si lascia modulare il secondo stadio, se è a due stadi.

La funzione è applicabile anche quando il bruciatore in SEQUENZA è ad uno stadio, anche se ha poco effetto nella logica della sequenza: il bruciatore monostadio può andare solo On-Off.

Questa pagina realizza quanto descritto al paragrafo 7.

– **CRITERIO 1 = caldaia in SEQUENZA A POTENZA MASSIMA (NON PARITARIA) e minimo TEMPO DI ACCENSIONE**

La prima caldaia funziona fino a che ce la fa da sola: quando non ce la fa più, resta a potenza massima e nel contempo si accende la seconda caldaia; quest'ultima viene spenta non appena la prima caldaia ce la fa da sola. Con questo criterio il numero di caldaie accese in ogni istante è il minimo possibile.

Se questo criterio minimizza il numero di caldaie accese contemporaneamente, massimizza nel contempo il numero di accensioni e spegnimenti.

Pagina 5.1.0 **Potenza Caldaia**
MASSIMA

Pagina 5.2.0 **Punto di Off**
NORMALE

– **CRITERIO 2 = caldaia in SEQUENZA A POTENZA MASSIMA (NON PARITARIA) e minimo NUMERO DI ACCENSIONI**

La prima caldaia funziona fino a che ce la fa da sola: quando non ce la fa più, resta a potenza massima e nel contempo si accende la seconda caldaia; prima di spegnere la seconda caldaia si lascia modulare il bruciatore della prima, se è modulante, oppure si lascia modulare il secondo stadio, se è a due stadi.

Questo criterio minimizza il numero di accensioni, e permette la modulazione eventuale della caldaia precedente in sequenza

Pagina 5.1.0 **Potenza Caldaia**
MASSIMA

Pagina 5.2.0 **Punto di Off**
OTTIMIZZATO

– **CRITERIO 3 = caldaia in SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (PARITARIA) e minimo TEMPO DI ACCENSIONE**

La prima caldaia funziona fino a che ce la fa da sola; quando non ce la fa più si accende la seconda e si portano tutte e due a potenza uguale (ognuna eroga metà della potenza necessaria all'impianto).

Non appena la prima ce la fa da sola, viene spenta immediatamente la seconda.

Con questo criterio il numero di caldaie accese in ogni istante è il minimo possibile.

Se questo criterio minimizza il numero di caldaie accese contemporaneamente, massimizza nel contempo il numero di accensioni e spegnimenti.

Pagina 5.1.0 **Potenza Caldaia**
RIPARTITA

Pagina 5.2.0 **Punto di Off**
NORMALE

– CRITERIO 4 = caldaia in SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (PARITARIA) e minimo NUMERO DI ACCENSIONI

La prima caldaia funziona fino a che ce la fa da sola; quando non ce la fa più si accende la seconda e si portano tutte e due a potenza uguale (ognuna eroga metà della potenza necessaria all'impianto).

Prima di spegnere la seconda caldaia si lascia modulare il bruciatore della prima, se è modulante, oppure si lascia modulare il secondo stadio, se è a due stadi.

Questo criterio minimizza il numero di accensioni, e permette la modulazione eventuale della caldaia precedente in sequenza

Pagina 5.1.0 **Potenza Caldaia
RIPARTITA**

Pagina 5.2.0 **Punto di Off
OTTIMIZZATO**

COMMENTI AI 4 CRITERI :

Qualunque criterio può essere applicato a qualunque tipo di caldaia : la scelta del criterio influenza solo il rendimento stagionale della caldaia e perciò della sequenza.

La scelta di un certo criterio in una certa caldaia dipende dal tipo di caldaia/bruciatore e dal tipo di caldaia/bruciatore dell'unità precedente o seguente IN SEQUENZA.

Poiché la costruzione delle sequenze è assolutamente libera si consiglia di formare quelle che mettono le caldaie in condizioni di ottimizzare il rendimento stagionale.

La scelta delle sequenze e dei criteri è molto ampia, soprattutto quando ci sono molte caldaie/bruciatore e fra di loro diversi. Si possono dare solo consigli generali poiché le sequenze migliori si devono decidere caso per caso.

– CALDAIA NORMALE CON BRUCIATORE 1 / 2 STADI O MODULANTE = CRITERIO 1 oppure 2

La scelta fra questi due criteri dipende dal tipo di caldaia/bruciatore precedente, per ottimizzare accensioni ed eventuali modulazioni.

– CALDAIA A CONDENSAZIONE CON BRUCIATORE A 2 STADI O MODULANTE = CRITERIO 3 oppure 4

La scelta fra questi due criteri dipende dal tipo di caldaia/bruciatore precedente, per ottimizzare accensioni ed eventuali modulazioni.

Qualche esempio di scelta chiarisce meglio i concetti:

– DUE CALDAIE UNA A CONDENSAZIONE E UNA NORMALE: in un impianto di questo genere è meglio sfruttare al massimo la caldaia a condensazione e accendere la caldaia normale solo quando la prima non ce la fa. Questo impianto è abbastanza comune poiché è la sostituzione di una caldaia nuova in un impianto a due caldaie, tipico dei condomini. Si cambia solo una caldaia per questioni di prezzo e perché la seconda caldaia può essere stata usata abbastanza poco.

La caldaia a condensazione sarà la prima e mantenuta a potenza massima anche quando deve intervenire la seconda: potenza massima significa bruciare combustibile il più possibile nella caldaia a condensazione.

CALDAIA A CONDENSAZIONE = CRITERIO 1 = POTENZA MASSIMA = SEMPRE PRIMA

CALDAIA NORMALE = CRITERIO 1 = POTENZA MASSIMA = SEMPRE SECONDA

In questa divisione si vede che conviene applicare il criterio 1 anche alla caldaia a condensazione.

– DUE CALDAIE A CONDENSAZIONE: la sequenza migliore sarà a POTENZA RIPARTITA (PARITARIA) con il minimo numero di accensioni (CRITERIO 4). Per la maggior parte del tempo (stagione non troppo fredda) andrà la prima caldaia; aumentando il freddo verrà chiamata anche la seconda che dividerà la potenza richiesta in modo paritario con la prima. La sequenza potrà essere scambiata a tempo per usare le caldaie in maniera simile.

– DUE CALDAIE NORMALI UNA CON BRUCIATORE A DUE STADI E UNA AD UNO STADIO: la caldaia a due stadi conviene venga messa come prima con il CRITERIO 1 mentre la seconda andrà messa come seconda in sequenza con il CRITERIO 2 per permettere la modulazione del secondo stadio della prima e minimizzare il numero di accensioni della seconda.

Come si vede da questi 3 esempi non esiste una regola fissa per la singola caldaia in base al tipo dell'accoppiata bruciatore/caldaia, poiché la scelta dipende anche dalla caldaia accoppiata in sequenza.

Nei casi in cui le caldaie siano più di due la scelta deve essere ancora più ragionata.

La scelta non influisce sul funzionamento del sistema, ma solo sul rendimento stagionale.

Una scelta sbagliata fa semplicemente bruciare combustibile nella caldaia sbagliata e nel momento sbagliato, aumentando semplicemente i consumi, deleteri per il rendimento stagionale.

9. DALLA GRANDEZZA REGOLANTE TOTALE (GRT) ALLA GRANDEZZA REGOLANTE PARTICOLARE (GRP)

I dati a disposizione sono :

- NUMERO (N) TOTALE DI TUTTE LE CALDAIE
- POSIZIONE (P) IN SEQUENZA DELLA CALDAIA
- GRANDEZZA REGOLANTE TOTALE (GRT da 0 a 100%)

Da questi dati si ricava :

$$\text{GRP} = 0 \quad \text{quando } \text{GRT} = 100 \times (P - 1) : N$$

$$\text{GRP} = 100 \quad \text{quando } \text{GRT} = 100 \times P : N$$

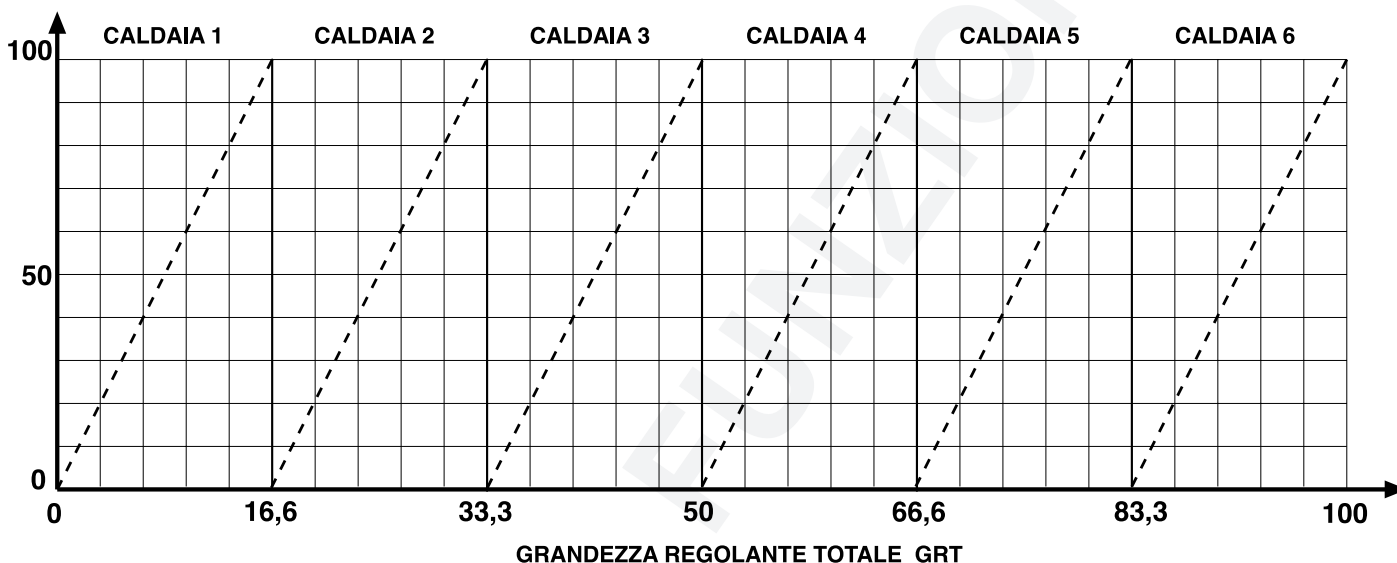
Accanto a questo valore principale GRP conviene che il regolatore (se non primo in sequenza) si calcoli tutte le volte il GRP del bruciatore precedente, per poter trovare il PUNTO DI OFF OTTIMIZZATO.

E' ovvio che il GRT del bruciatore precedente al posto di P si troverà $P - 1$.

Esempio :

N = 6, P = 1, 2, 3, 4, 5, 6

GRANDEZZA REGOLANTE PARTICOLARE GRP

**10. TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI DI PARTENZA E DELLE TARATURE**

La tabella riassuntiva sintetizza i parametri ricevuti dal Master o calcolati, necessari ad ogni caldaia per essere comandata IN SEQUENZA.

N = numero totale di caldaie che, in quel momento, il Master vuole comandare IN SEQUENZA.

P = posizione in sequenza della caldaia.

GRT = grandezza regolante totale (ricevuta dal Master).

GRP = grandezza regolante particolare della caldaia da 0 a 100 (calcolata dallo Slave)

ON 1 = punto di accensione del bruciatore (stadio unico, primo stadio se a 2). Se il bruciatore è modulante questo punto coincide con il punto di potenza minima (**P. MIN**)

OFF 1 = punto di spegnimento del bruciatore

ON 2 = punto di accensione del secondo stadio

OFF 2 = punto di spegnimento del secondo stadio

P. MIN = valore di potenza minima (zona ON / OFF per i bruciatori modulanti). Questo valore si sostituisce a **ON 1**.

P. MAX = valore di potenza massima consentita al bruciatore modulante

Le pagine di configurazione sono :

– TIPO DI BRUCIATORE = 1, 2 STADI, MODULANTE

– POTENZA CALDAIA = MASSIMA, RIPARTITA

– PUNTO DI OFF = NORMALE, OTTIMIZZATO

– POTENZA MASSIMA = da 50% a 100% (solo bruciatori modulanti)

– POTENZA MINIMA = da 3% a 50% (solo bruciatori modulanti)

– BANDA DI TEMPERATURA = solo se la SEQUENZA è A POTENZA RIPARTITA. Per Banda di Temperatura si intende una piccola variazione da dare al set-point di temperatura del bruciatore, quando è comandato in questo modo, per dare migliore stabilità al sistema. In seguito si vedrà meglio il significato di questa funzione

– TEMPERATURA MASSIMA = sempre presente.

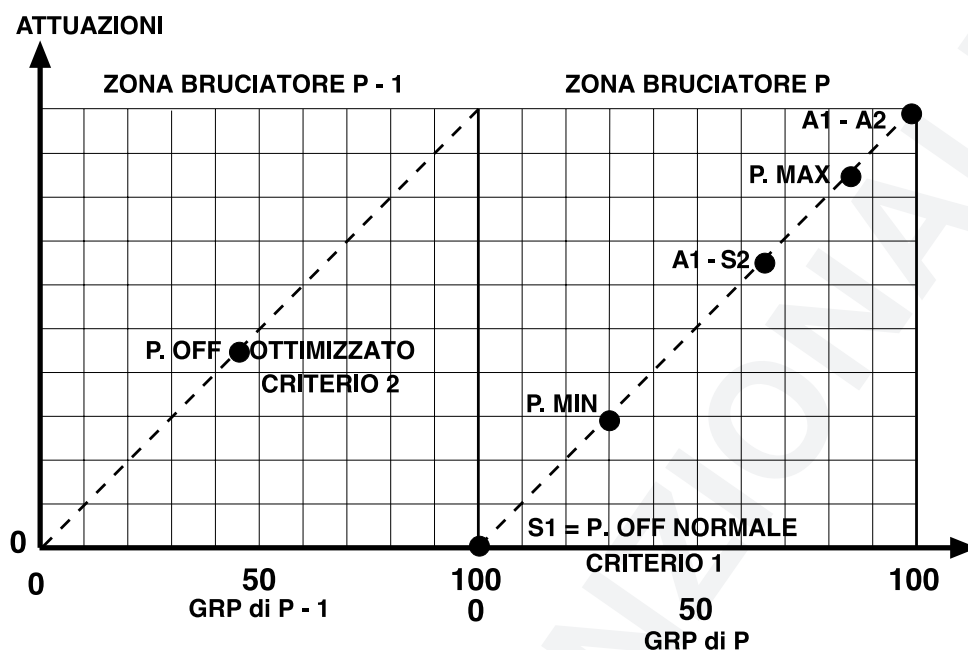
Con la SEQUENZA A POTENZA MASSIMA, attraverso la limitazione della grandezza regolante del bruciatore

Con la SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA diventa il limite del set-point di temperatura in qualunque modo sia stato calcolato.

11. CALDAIA IN SEQUENZA A POTENZA MASSIMA CON LIMITE DI TEMPERATURA (CRITERI 1 e 2)

Il comando del bruciatore P avviene in base al valore di GRP, così come calcolato direttamente da GRT.

Il limite di temperatura è considerato un vero e proprio regolatore che genera una propria grandezza regolante; quest'ultima viene paragonata a GRP, scegliendo la minore delle due che diventerà una specie di nuovo GRP, soggetto al limite di temperatura.



Il bruciatore P utilizza la GRP di competenza (a destra nel diagramma)

GRP del bruciatore P - 1 esiste solo se $P > 1$ (P non è il primo bruciatore)

A1 - A2 = accensione bruciatore se a 1 stadio (A1)
100 accensione secondo stadio se a 2 stadi (A2)

P. MAX = limite di potenza massima per i bruciatori modulanti (tarabile)

A1 - S2 = accensione primo stadio se a 2 stadi (A1)
65 spegnimento secondo stadio se a 2 stadi (S2)

P. MIN = accensione bruciatore modulante (tarabile)

S1 = spegnimento totale del bruciatore con P. OFF = NORMALE = **CRITERIO 1**
0

P. OFF = spegnimento totale del bruciatore con P. OFF = OTTIMIZZATO = **CRITERIO 2**
45 su P - 1

COMANDO VALVOLA DI INTERCETTAZIONE :

La valvola di intercettazione caldaie fa parte integrante della sequenza, poichè distribuisce la portata d'acqua dell'impianto solo alle caldaie che debbono erogare energia.

In questi diagrammi è necessario individuare anche il principio di comando della valvola di intercettazione.

– **COMANDO APERTURA VALVOLA** : il comando avviene all'accensione del bruciatore; questo punto viene descritto nella lista precedente, in funzione del tipo di bruciatore.

– **COMANDO CHIUSURA VALVOLA** : il comando avviene allo spegnimento del bruciatore, ritardato di una quantità prefissabile, per evitare una eccessiva usura del sistema motore/valvola e per recuperare il calore residuo immagazzinato in caldaia.

Se durante il ritardo la GRP torna sopra il valore di spegnimento del bruciatore (5%), si ricarica il temporizzatore del ritardo alla chiusura.

12. CALDAIA IN SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (CRITERI 3 e 4)

Per la SEQUENZA A POTENZA RIPARTITA (TEMPERATURA) si converte GRP in set-point di temperatura, che è lo stesso set-point del collettore, intorno al quale si crea un diagramma lineare con variazione $\pm \Delta T$. Questo set-point viene inviato al regolatore di temperatura, all'uscita del quale si avrà una nuova grandezza regolante GRPT (Grandezza Regolante Particolare Temperatura), che crea i vari comandi del bruciatore, esattamente come fa la GRP (Grandezza Regolante Particolare dalla sequenza), nel caso della regolazione IN POTENZA.

Se si usa il PUNTO DI OFF OTTIMIZZATO (CRITERIO 4) il set-point di temperatura resta costantemente uguale all'ultimo valore fino al momento in cui si riduce a zero (OFF OTTIMIZZATO).

In questo caso il limite di temperatura non si usa poichè esiste già un set-point di temperatura che fa anche da limite.

Per maggior chiarezza si riportano i tre diagrammi relativi ai tre bruciatori : MONOSTADIO, BISTADIO e MODULANTE

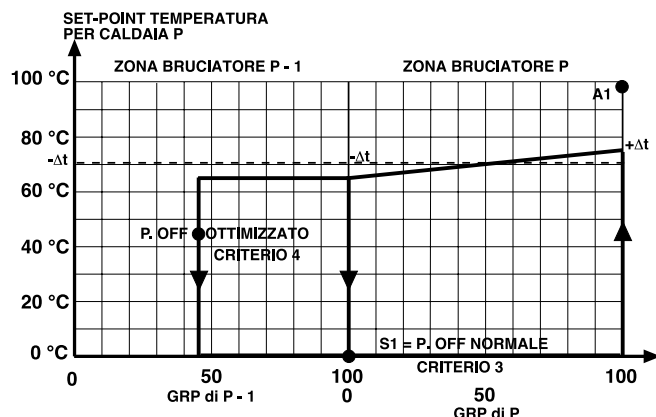


DIAGRAMMA 1 = BRUCIATORE MONOSTADIO

Il set-point di temperatura resta 0 (zero) fino a 100% (A1) della Grandezza Regolante Particolare (GRP).

Una volta arrivata al punto 100% (A1) segue la linea inclinata fino al punto S1 (PUNTO OFF NORMALE = 0% = CRITERIO 3) oppure fino al punto P.OFF OTTIMIZZATO = CRITERIO 4 (45% della Grandezza Regolante Particolare del bruciatore precedente)

LA VALVOLA SEGUE ESATTAMENTE LA STESSA LOGICA : SI APRE CONTEMPORANEAMENTE AL CONSENSO AL SET-POINT DI TEMPERATURA.

In pratica viene chiesta potenza al bruciatore sotto il comando del collettore e quando viene chiesta potenza viene chiesta alla temperatura prestabilita dalla curva del set-point.

Quando si invia al regolatore di temperatura un set-point diverso da zero, la Grandezza Regolante di Temperatura (GRPT) comanda il bruciatore esattamente come faceva in potenza la GRP.

Se il PUNTO DI OFF è ottimizzato, tutta la logica di spegnimento avviene su questo punto.

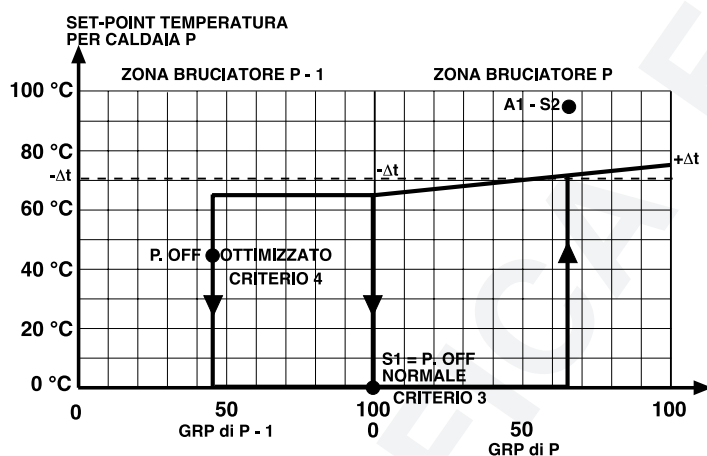


DIAGRAMMA 2 = BRUCIATORE BISTADIO

La logica è esattamente uguale alla precedente solo che il PUNTO DI ON è A1 - S2 (65% di GRP).

La logica di invio di set-point è perfettamente uguale.

Il regolatore di temperatura, una volta ricevuto il set-point, genera la GRPT, che comanda il bruciatore sia sul primo che sul secondo stadio.

LA VALVOLA SEGUE ESATTAMENTE LA STESSA LOGICA : SI APRE CONTEMPORANEAMENTE AL CONSENSO AL SET-POINT DI TEMPERATURA, E PERCIO' OPERA IN PARALLELO AL COMANDO DEL PRIMO STADIO.

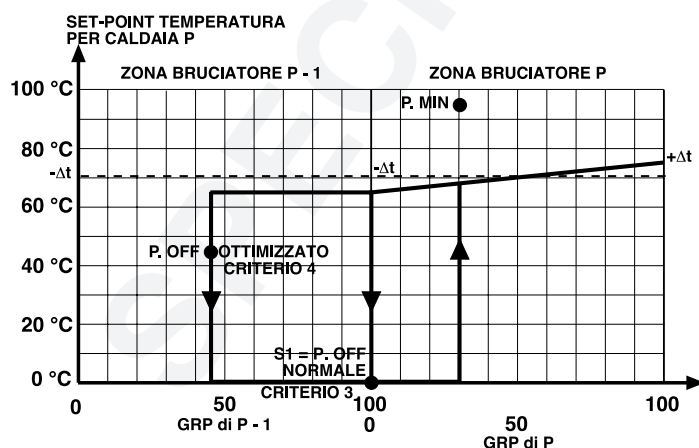


DIAGRAMMA 3 = BRUCIATORE MODULANTE

Si può ripetere tutto quanto detto, prendendo come PUNTO DI ON il P. MIN.

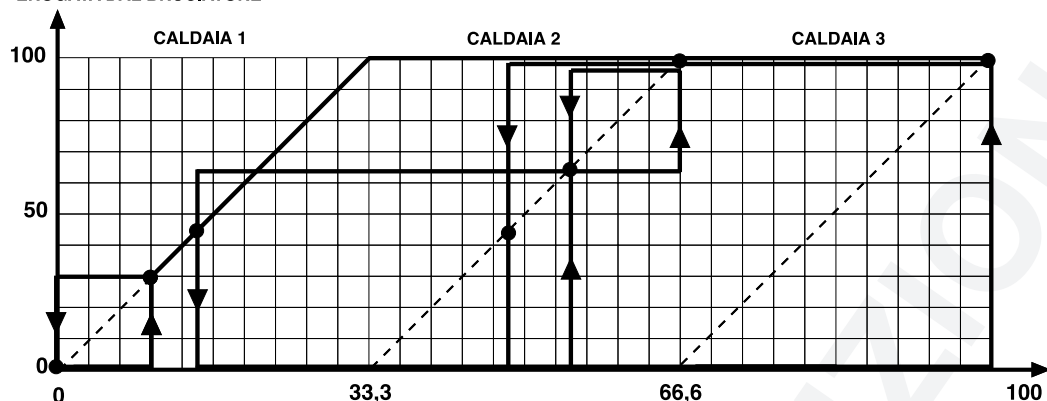
Anche la valvola segue la stessa logica

13. ESEMPIO DI SEQUENZA CON 3 BRUCIATORI, CALDAIE NORMALI.

Gli esempi illustrati si riferiscono ad un impianto con 3 caldaie tutte normali (non a condensazione).

BRUCIATORE 1 = MODULANTE	CALDAIA 1 = NORMALE	PUNTO OFF = OTTIMIZZATO	CRITERIO 2
BRUCIATORE 2 = 2 STADI	CALDAIA 2 = NORMALE	PUNTO OFF = OTTIMIZZATO	CRITERIO 2
BRUCIATORE 3 = 1 STADIO	CALDAIA 3 = NORMALE	PUNTO OFF = OTTIMIZZATO	CRITERIO 2

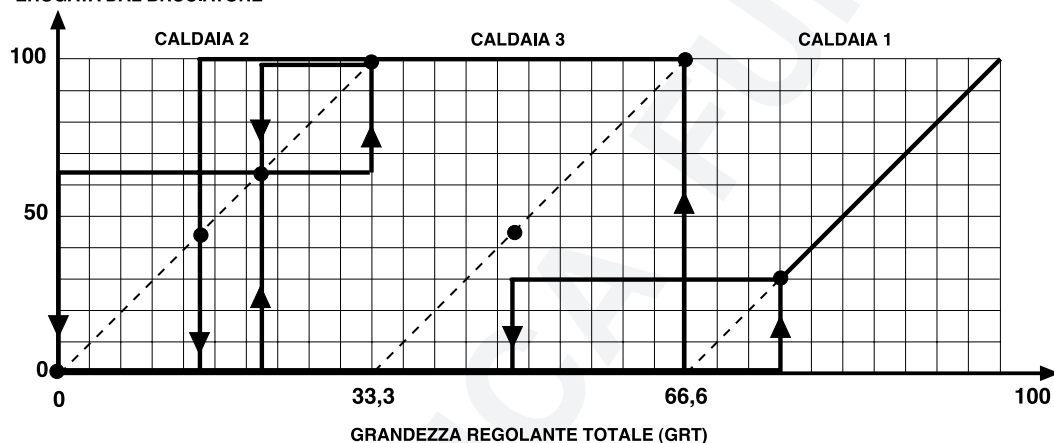
POTENZA ISTANTANEA %
EROGATA DAL BRUCIATORE

**SEQUENZA 1, 2, 3**

Prima di spegnere il primo stadio del bruciatore 2, si lascia modulare il bruciatore 1 fino a meno della metà della potenza, per ottimizzare il secondo bruciatore.

Prima di spegnere il bruciatore 3 si lascia lavorare il secondo stadio del bruciatore 2.

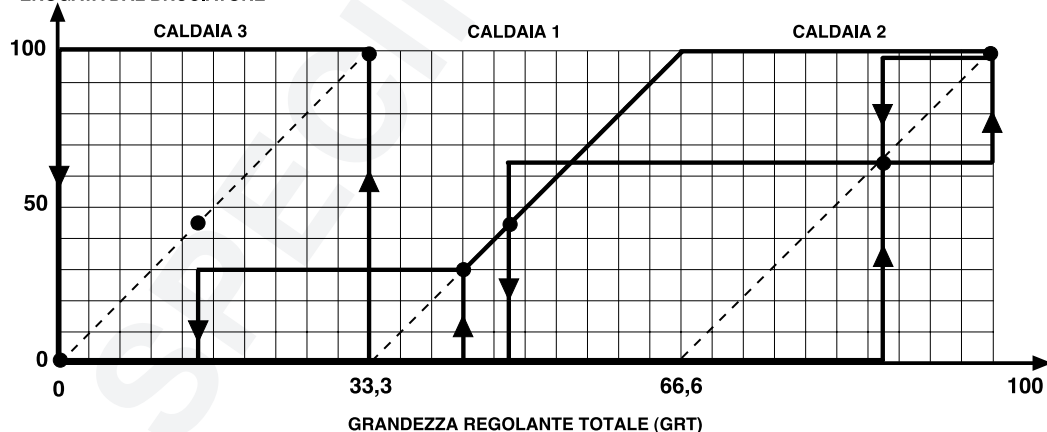
POTENZA ISTANTANEA %
EROGATA DAL BRUCIATORE

**SEQUENZA 2, 3, 1**

Prima di spegnere il bruciatore 3 si lascia lavorare il secondo stadio del bruciatore 2.

Il bruciatore 1 (modulante) è in una posizione in cui si ritarda il suo spegnimento totale per limitare il numero delle operazioni

POTENZA ISTANTANEA %
EROGATA DAL BRUCIATORE

**SEQUENZA 3, 1, 2**

Prima di spegnere completamente il bruciatore 2 si lascia ridurre la potenza del bruciatore 1 fino a meno della metà della potenza, per ottimizzarlo

Il bruciatore 1 (modulante) è in una posizione in cui si ritarda il suo spegnimento totale per limitare il numero delle operazioni

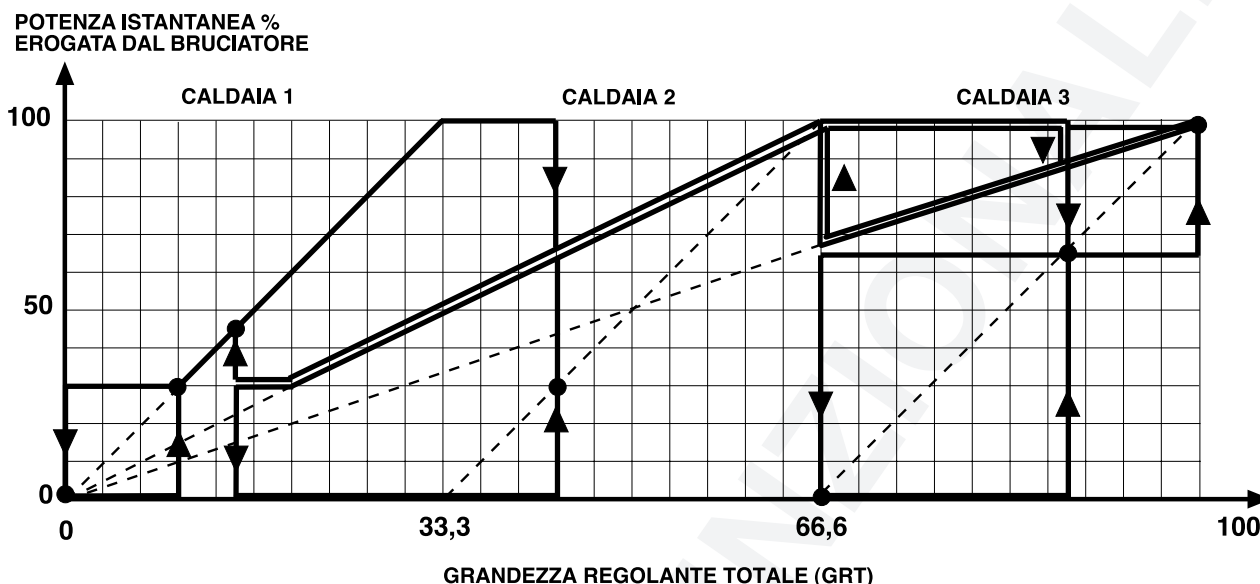
Il bruciatore 3 (a uno stadio) si accende e spegne nella sua zona poichè è il primo della sequenza.

La rotazione di 3 bruciatori completamente diversi, è esemplificata per completezza anche se in questo caso è meglio lasciare la sequenza fissa 1, 2, 3 che è certamente quella più vantaggiosa.

14. ESEMPIO DI SEQUENZA CON 3 BRUCIATORI E CALDAIE (NORMALI E A CONDENSAZIONE).

Gli esempi illustrati si riferiscono ad un impianto con 3 caldaie tutte normali (non a condensazione).

BRUC. 1 = MODULANTE	CALDAIA 1 = CONDENSAZIONE	OFF = OTTIMIZZATO	CRITERIO 4
BRUC. 2 = MODULANTE	CALDAIA 2 = CONDENSAZIONE	OFF = OTTIMIZZATO	CRITERIO 4
BRUC. 3 = 2 STADI	CALDAIA 3 = NORMALE	OFF = NORMALE	CRITERIO 1



Questo diagramma corrisponde alla SEQUENZA 1, 2, 3

La SEQUENZA 2,1,3 è perfettamente analoga alla precedente poichè le prime due caldaie sono uguali.

Tutte le sequenze con la caldaia 3 non posizionata all'ultimo posto non sono convenienti, poichè si accenderebbe per un tempo maggiore la caldaia che rende meno.

La terza caldaia va lasciata sempre come ultima e verrà chiamata a funzionare solo quando le prime due non c'è fanno o quando una o l'altra cessano di funzionare per blocchi o manutenzione.

Per capire questo diagramma è necessario seguirlo una volta con la Grandezza Regolante Totale (GRT) in crescita e una seconda volta con la stessa GRT in calo.

GRANDEZZA REGOLANTE IN CRESCITA

- GRT = 0 Tutte le caldaie sono spente
- PRIMA AZIONE (P.MIN 1° CALDAIA) = La prima caldaia modulante eroga il minimo di potenza (ZONA ON - OFF)
- LA PRIMA CALDAIA aumenta la sua potenza da P. MIN a P. MAX.
- CONTINUA LA P. MAX NELLA PRIMA CALDAIA fino al punto P. MIN della seconda che si accende : si apre contemporaneamente la valvola di intercettazione della seconda caldaia ripartendo la portata in due parti. Le due caldaie si portano a potenza pari poichè hanno praticamente lo stesso set-point di temperatura.
- CONTINUA L'AUMENTO DELLA POTENZA DELLA PRIMA E DELLA SECONDA CALDAIA fino al massimo
Le due caldaie restano a potenza massima fino al punto di accensione del primo stadio della terza caldaia.
- SI ACCENDE IL PRIMO STADIO DELLA TERZA CALDAIA e si apre la valvola di intercettazione
- LE CALDAIE 1 E 2 modulano a pari potenza fino al massimo
- SI ACCENDE IL SECONDO STADIO DELLA TERZA CALDAIA : il sistema è a potenza massima (GRT = 100)

GRANDEZZA REGOLANTE IN DIMINUZIONE

- GRT = 100. Tutte le caldaie sono accese alla massima potenza
- SI SPEGNE IL SECONDO STADIO DELLA TERZA CALDAIA
- LE CALDAIE 1 E 2 MODULANTI PROSEGUONO A PARI POTENZA durante tutto il funzionamento della terza caldaia
- SI SPEGNE IL PRIMO STADIO DELLA TERZA CALDAIA
- LE CALDAIE 1 E 2 MODULANTI PROSEGUONO A PARI POTENZA FINO AL PUNTO DI OFF OTTIMIZZATO
- LA SECONDA CALDAIA SI SPEGNE COMPLETAMENTE : si chiude anche la valvola e perciò tutta la portata circola sulla prima caldaia, la quale può erogare una potenza maggiore e sufficiente.
- LA PRIMA CALDAIA CONTINUA IL CALO DELLA SUA POTENZA fino allo spegnimento completo
- GRT = 0. Tutte le caldaie sono spente

OSSERVAZIONE : la parte più importante di questa sequenza è il funzionamento delle due caldaie modulanti che sono pilotate a potenza uguale quando sono chiamate a funzionare insieme, fino al punto ottimizzato, dove si decide che basta un'unica caldaia. Questo garantisce che quando due caldaie funzionanti vengono chiamate a funzionare insieme, pur seguendo la sequenza, vengono pilotate alla stessa temperatura di mandata, ottimizzando il rendimento della condensazione.

15. BRUCIATORI COMANDATI ALCUNI IN SEQUENZA A POTENZA MASSIMA E ALCUNI A POTENZA RIPARTITA, CON CALDAIE NORMALI O A CONDENSAZIONE

Gli esempi fatti al paragrafo precedente possono essere estesi a piacere anche per combinazioni di bruciatori e caldaie le più varie possibili.

La capacità del sistema di poter creare un numero praticamente infinito di sequenze è dovuta al fatto che si può :

- tarare ogni bruciatore/caldaia come si vuole,
- creare sequenze come si desidera con scambi temporali, manuali o automatici

Combinando i vari parametri in base alla conoscenza teorica o all'esperienza, si arriverà sempre alla combinazione più vantaggiosa dal punto di vista energetico.

16. MAGGIORI DETTAGLI SUL COMPORTAMENTO DELLE CALDAIE A CONDENSAZIONE IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI RITORNO, DELLA PERCENTUALE DI POTENZA ISTANTANEA EROGATA E DELLA TEMPERATURA DEI FUMI

16.1 DATI TERMODINAMICI DEL METANO RELATIVI ALLA CONDENSAZIONE

- **Potere calorifero inferiore = 8127 Kcal/m³**: Sono le Kcal (calore sensibile) che si ottengono bruciando 1 m³ di gas, senza considerare le calorie contenute nel vapor d'acqua presente nei fumi.
- **Potere calorifero superiore = 9025 Kcal/m³**: Sono le Kcal totali (calore sensibile + calore latente) che si ottengono bruciando 1 m³ di gas considerando anche le calorie contenute nel vapor d'acqua presente nei fumi.
- **Calore latente = 898 Kcal/m³**: Rappresenta la differenza fra i due poteri caloriferi
- **Litri di acqua generati bruciando 1 m³ di gas = 1,55 Kg/m³**
- **Calore di evaporazione per 1 litro di acqua = 579 Kcal/litro**

- **Rendimento di una buona caldaia (eccesso di aria = 3%) senza condensazione = 97%**
- **Calore in uscita da questa caldaia senza condensazione = 7880 Kcal/m³**
- **Calore in uscita da questa caldaia con condensazione teorica totale = 8788 Kcal/m³**
- **Rendimento apparente di una buona caldaia con condensazione teorica totale = 108%**
- **Aumento teorico di rendimento = +11%**

Mentre nelle caldaie senza condensazione il guadagno di rendimento è di circa l'1% per ogni 20°C in meno di fumi, quando la caldaia incomincia a condensare il guadagno aumenta molto più rapidamente con la diminuzione della temperatura dei fumi: incomincia a farsi sentire la condensazione.

Il fenomeno della condensazione in caldaia ubbidisce alle seguenti regole generali:

- **Quantità assoluta di acqua contenuta in un m³ di fumi (Kg/m³) è fissa, e dipende solo dall'eccesso di aria che, se troppo elevato, "diluiscie" l'acqua in più fumi.**
- **Con eccesso di aria pari al 3% il "punto di rugiada" dei fumi è circa 57°C.**
Il punto di rugiada rappresenta la temperatura alla quale la quantità di acqua contenuta nei fumi genera una percentuale di umidità relativa pari al 100%.
- **una qualunque superficie, con temperatura inferiore a 57°C, immersa nei fumi con punto di rugiada pari a 57°C, inizia a condensare acqua.**
E' lo stesso fenomeno dei vetri che si appannano.
- **più alta è la temperatura dei fumi, più si abbassa il punto di rugiada, poichè i fumi possono contenere più acqua.**
- **più si abbassa il punto di rugiada, più bassa deve essere la temperatura della superficie di condensazione: in pratica più basso deve essere il ritorno in caldaia.**

Da quanto detto si può concludere:

- **LA CONDENSAZIONE E' TANTO PIU' ALTA QUANTO PIU' BASSA E' LA TEMPERATURA DI RITORNO E QUANTO PIU' BASSI SONO I FUMI, A PARITA' DI TEMPERATURA DI RITORNO.**

La condensazione è perciò una combinazione fra :

- **bassa differenza fra fumi e ritorno alla massima potenza nominale (buona qualità di caldaia).**
- **bassa temperatura di ritorno impianto (buona qualità della regolazione dell'impianto).**

Nota bene:

Ogni caldaia a condensazione dovrebbe avere il dato che indica la differenza di temperatura fra fumi e ritorno, alla potenza nominale, oppure altri dati dai quali si possa ricavare questo valore. Questo valore rappresenta la capacità che ha la caldaia di avere un buono scambio con il condensatore: migliore è il condensatore, migliore è la qualità della caldaia.

A potenze inferiori della nominale la differenza fumi/ritorno diminuisce, poichè i fumi, avendo una portata inferiore (si brucia meno gas, e si cala perciò l'aria comburente) restano in caldaia un tempo più lungo ed hanno un miglior scambio termico con il condensatore.

E' come se si usasse una caldaia per una potenza superiore a quella che si sta erogando in quel momento.

Una buona caldaia ha la differenza fumi/ritorno uguale a zero quando la potenza emessa è pari al 30%. Per potenze intermedie la differenza fumi/ritorno può essere considerata lineare.

Negli esempi che seguono consideriamo che la caldaia di "buona qualità" ha :

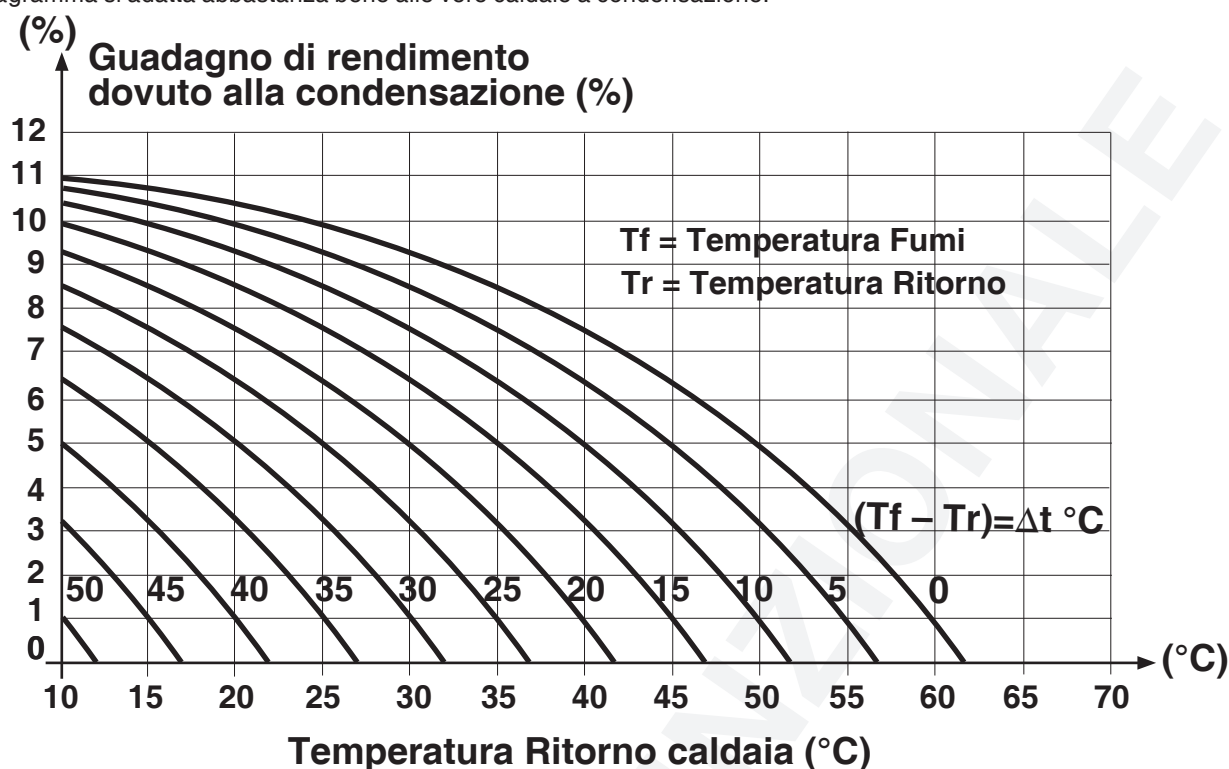
- **differenza fumi/ritorno = 10 °C**
- **differenza fumi/ritorno = 0 °C, quando la potenza è al 30% del nominale**

In commercio ci saranno caldaie migliori o peggiori.

16.2 CURVE TERMODINAMICHE DEL GUADAGNO DI RENDIMENTO DOVUTO ALLA CONDENSAZIONE

Come si è già visto il guadagno di rendimento è legato, fondamentalmente, alla temperatura di ritorno caldaia e alla temperatura dei fumi, o meglio alla differenza fra la temperatura dei fumi e la temperatura di ritorno.

In figura è rappresentato il diagramma teorico della condensazione possibile e del relativo guadagno di rendimento; questo diagramma si adatta abbastanza bene alle vere caldaie a condensazione.



Queste curve sono tutte generate dalla prima di destra ($\Delta t = 0^\circ\text{C}$), traslate a sinistra sull'asse orizzontale di una quantità di gradi centigradi pari al valore di Δt .

Questo fatto è legato al fenomeno fisico del punto di rugiada dei fumi legato alla temperatura degli stessi, visto che la quantità di acqua per m^3 di fumo è sempre la stessa, poichè nello stesso volume di aria si brucia la stessa quantità di gas.

Esprimendo in modo analitico la prima curva ($T_f - T_r = 0$), tutte le altre si ricavano semplicemente traslando questa verso sinistra di una quantità di gradi centigradi pari a $(T_f - T_r)$.

La formula che esprime la prima curva è la seguente:

$$G = 10,27 + 0,0933 (T_r) - 0,0041 (T_r)^2 \quad \text{dove:} \quad G = \text{Guadagno di rendimento \%} \quad T_r = \text{Temperatura di ritorno.}$$

Questo polinomio approssima in maniera sufficiente la curva nel campo di valori di " T_r " e " G " che interessano.

Lo spostamento verso sinistra di una quantità in $^\circ\text{C}$ pari a $(T_f - T_r)$ di questa prima curva, per generare tutte le altre, si ottiene aggiungendo alla variabile T_r la quantità $(T_f - T_r)$:

La variabile diventa : $T_r + (T_f - T_r) = T_f$ da questo si ottiene la formula valida per qualunque $T_f - T_r$

$$G = 10,27 + 0,0933 (T_f) - 0,0041 (T_f)^2 \quad \text{il guadagno dipende solo dalla temperatura dei fumi !!!}$$

Il significato fisico è:

- la condensazione dipende certamente dalla temperatura di ritorno,
- la condensazione inoltre dipende anche dalla "bontà" della caldaia e cioè da quanto grande è la superficie di scambio fumi / acqua di ritorno: "più buono" è questo scambiatore più costa, ma più alta è la condensazione.

A decidere della qualità della caldaia è alla fine la politica commerciale del costruttore

- a parità di temperatura dei fumi (che determina in maniera univoca il guadagno istantaneo) una buona caldaia accetta acqua di ritorno ad una temperatura più alta, poichè la differenza fumi/acqua è inferiore.

Una cattiva caldaia, sempre con la stessa temperatura dei fumi guadagnerà lo stesso, però ha bisogno di una temperatura di ritorno dell'acqua più bassa, visto che la differenza fumi/acqua è superiore.

Una buona caldaia guadagnerà di più anche con temperature acqua maggiori rispetto ad una cattiva caldaia.

La diminuzione della temperatura dei fumi genera un ulteriore guadagno semplicemente perchè si butta via meno calore, indipendentemente dalla condensazione.

Come detto al paragrafo 3 si guadagna un punto di rendimento per ogni 20°C in meno sulla temperatura dei fumi.

Considerando come rendimento base quello della caldaia con i fumi a 62°C (condensazione nulla), questo ulteriore guadagno può essere espresso come: $G_f = (62 - T_f) : 20$. Questo valore deve essere 0 (zero) quando la temperatura dei fumi supera i 62°C . La formula sopra indicata diventa:

$$G_{cf} = 10,27 + 0,0933 (T_f) - 0,0041 (T_f)^2 + (62 - T_f) : 20 \quad \text{dove } G_{cf} \text{ rappresenta il guadagno completo (in funzione della temperatura dei fumi) che si ottiene tenendo conto dei due fenomeni.}$$

Nelle misure contenute nei regolatori conviene indicare solo il guadagno dovuto alla condensazione, immaginando che il guadagno dovuto alla pura temperatura dei fumi sia qualcosa non strettamente correlato alla condensazione.

La "bontà" di una caldaia è stata definita numericamente dalla raccomandazione CTI R03-3 attraverso due parametri:

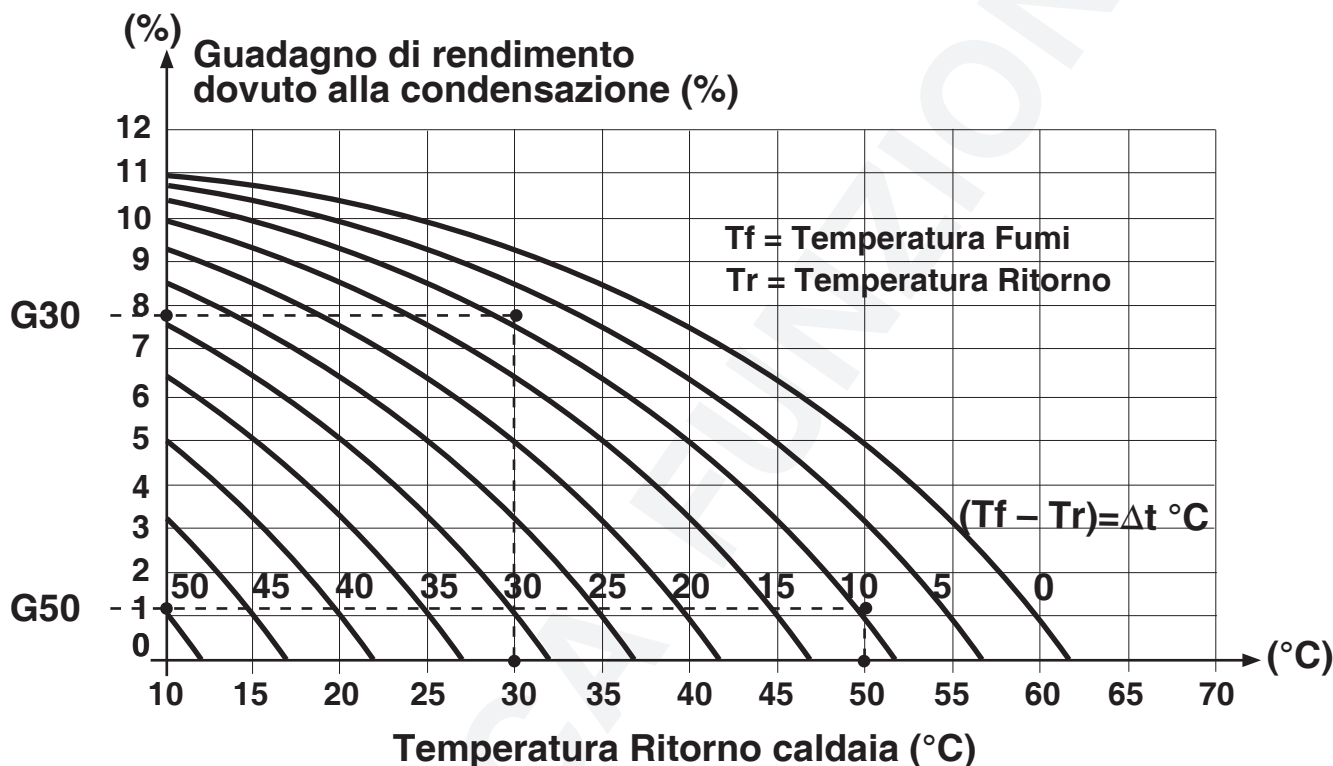
- C30 = quantità di condensa avvenuta espressa in Kg/Nm³ di acqua.
Sono i Kg di acqua condensati per ogni NORMAL METRO CUBO di gas bruciato, con eccesso d'aria del 3%, quando la temperatura di ritorno è 30 °C e la potenza erogata dalla caldaia è il 100% del nominale.
- C50 = esattamente la stessa definizione del C30, ma con 50°C.

Questi due parametri dovrebbero essere indicati nelle specifiche tecniche dal costruttore della caldaia. Questi parametri possono essere trasformati direttamente in guadagno di rendimento percentuale. Conoscendo i Kg di acqua condensata si conosce il calore recuperato tenuto conto che ogni litro di acqua recupera 579 Kcal. Dividendo le Kcal recuperate per il potere calorifico inferiore (8.127 Kcal/ m³) si ricava il guadagno percentuale. Valori tipici per una buona caldaia sono: C30 = 1.1, C50 = 0.17

$$G30 = 1.1 \times 579 : 8.127 = 0,078 = 7,8\%$$

$$G50 = 0,17 \times 579 : 8.127 = 0,012 = 1,2\%$$

Per conoscere la temperatura dei fumi (superiore alla temperatura dell'acqua) basta entrare con questi dati nel diagramma per vedere a quale curva corrispondono: tutti e due i valori di G30 e G50 devono stare sulla stessa curva.



Le caratteristiche di questa caldaia (con i valori supposti per C30 e C50) sono buone: la sovratemperatura dei fumi sul ritorno alla potenza nominale è inferiore a 10 °C (circa 9°C).

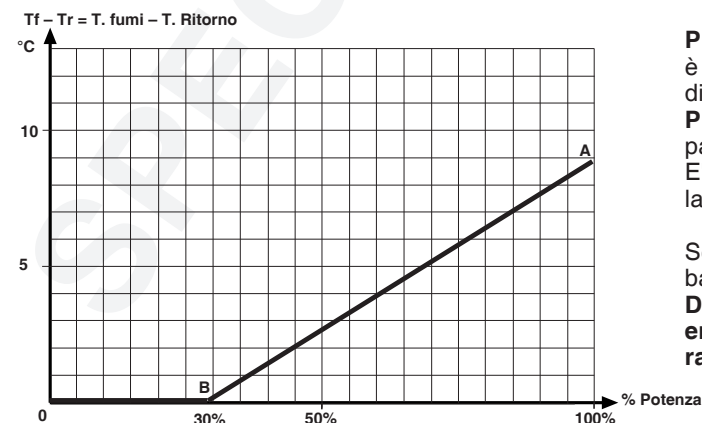
Si può notare che i due valori C30 e C50 hanno portato lo stesso valore per la differenza di temperatura fumi/acqua, che non dipende dalla temperatura di ritorno a parità di potenza emessa (in questo caso la nominale).

In questo caso il condensatore è certamente dimensionato in maniera corretta.

I due valori di C30 e C50, trasformati in G30 e G50 danno la vera capacità che la caldaia ha di condensare.

Nota la sopraelevazione di temperatura alla potenza nominale, si possono ricavare le sopraelevazioni di temperatura a potenze inferiori applicando quanto detto al paragrafo 16.1.

Se ne ricava questo diagramma



Punto A: la sopraelevazione di temperatura fra fumi e ritorno è pari a 9°C, come calcolato nella caldaia esempio dei valori di C30 e C50.

Punto B: la sopraelevazione di temperatura fra fumi e ritorno è pari a 0°C, quando la potenza emessa è il 30 % del nominale. E' un valore generalmente vicino alla minima capacità di modulazione del bruciatore.

Se il sistema bruciatore/caldaia riesce ad avere una curva più bassa di questa è tanto di guadagnato per il rendimento.

Da questa curva si può conoscere la potenza istantanea emessa dalla caldaia semplicemente misurando la temperatura dei fumi e del ritorno.

16.3 CONCLUSIONI

Da tutto quanto esposto fino ad ora si può concludere:

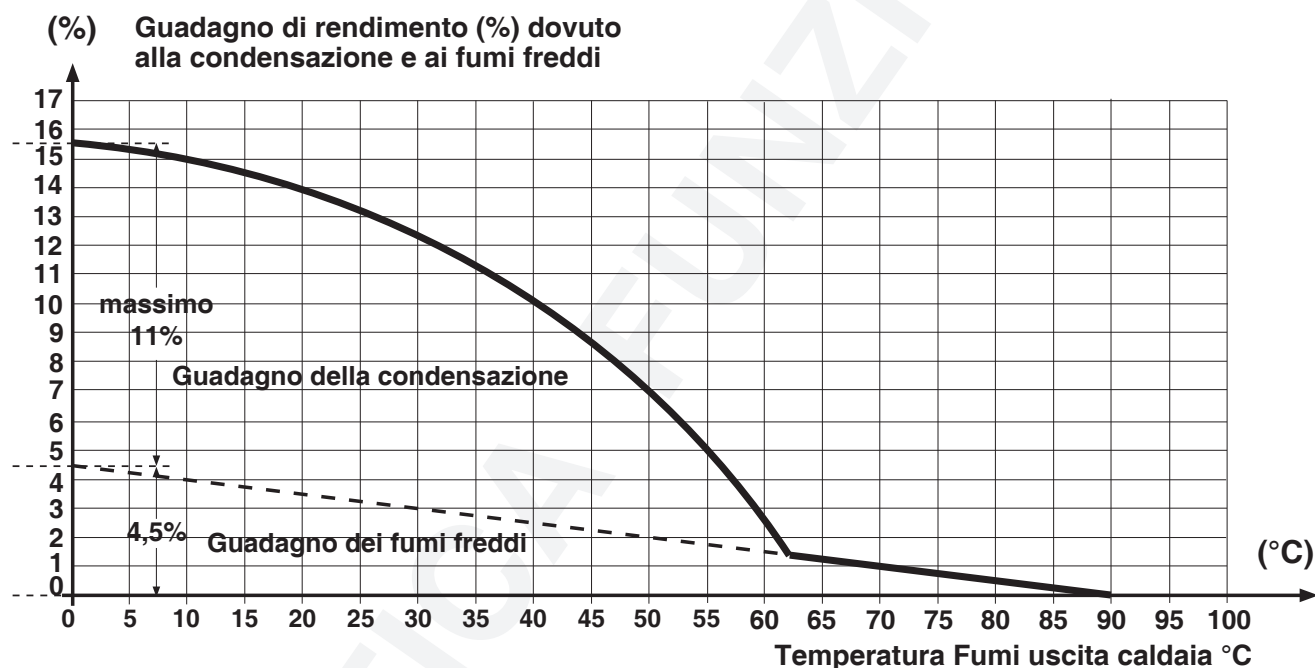
Comunque siano fatte le caldaie, la condensazione è tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura di ritorno dell'acqua e quanto più bassa è la potenza percentuale istantanea rispetto alla massima, poichè questa percentuale alza la temperatura dei fumi.

Una caldaia a condensazione va condotta con il minimo di temperatura di ritorno dell'acqua e con il minimo di potenza percentuale. Questa potenza deve essere sufficientemente superiore alla minima potenza di modulazione, sotto la quale il bruciatore funziona On-Off, con i bassi rendimenti di questo funzionamento. Questi principi devono ispirare la metodologia di comando di più di una caldaia.

I principi di una buona conduzione di una o più caldaie a condensazione sono:

- **CALDAIA A CONDENSAZIONE SINGOLA** : la potenza è imposta dall'impianto e perciò l'unico modo per aumentare il rendimento di condensazione è gestire l'impianto in modo che si ottenga il minimo di temperatura per l'acqua di ritorno.
- **CALDAIA A CONDENSAZIONE IN SEQUENZA**: la potenza (imposta dall'impianto) va divisa equamente fra 2 o più caldaie, facendo in modo però che ogni singola caldaia (salvo la prima) non scenda mai IN POTENZA sotto il limite minimo della zona di modulazione. Sotto questo limite i bruciatori vanno On-Off, con un rendimento piuttosto basso, viste tutte le operazioni che si devono fare per il comando On-Off (prelavaggio, post lavaggio e altro).

16.4 DIAGRAMMA RIASSUNTIVO DEL GUADAGNO TOTALE DI RENDIMENTO DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE IN FUNZIONE DELLA SOLA TEMPERATURA DEI FUMI



Questo diagramma riassume tutte le considerazioni termodinamiche fatte per determinare il guadagno di rendimento istantaneo di una caldaia a condensazione, in base alla sola temperatura dei fumi.

Il rendimento di base viene considerato quello che la caldaia ha quando i fumi escono a 90°C, temperatura non lontana da quella dei fumi in una caldaia non a condensazione.

Questo diagramma rappresenta in pratica il vantaggio che si ottiene usando una caldaia a condensazione, al posto di una caldaia normale.

Si vede chiaramente che tutto dipende dalla temperatura dei fumi che è il risultato di quanto freddo è il ritorno in caldaia e da quanto più basso è il salto termico fra fumi e ritorno, che è l'indice migliore per giudicare la "bontà" di una caldaia a condensazione.

Il guadagno di rendimento istantaneo, rappresentato da questo diagramma, ha valore qualunque sia la potenza istantanea erogata dalla caldaia.

SPECIFICA FUNZIONALE

COSTER
CONTROLLI
TEMPERATURA
ENERGIA
COSTER TECNOLOGIE ELETTRONICHE S.p.A.
Sede Legale: 20132 Milano - Via San G.B. De La Salle, 4/a
R.E.A. C.C.I.A.A. di Milano: 969861
C.F. e Num. di Iscr. al Registro Imprese
di Milano: 00856030150
P.IVA IT 00542780986
Cap. Sociale € 4.864.000,00 int. vers.

Amministrazione e Vendita
Via San G.B. De La Salle, 4/a
20132 - Milano
Ricevimento Ordini
Uff. Regionale Centro-Sud
Via S. Longanesi, 14
00146 - Roma
Spedizioni
Via Gen. Treboldi, 190/192
25048 - Edolo (BS)
E-mail: info@coster.eu
Tel. +39 022722121
Fax +39 022593645
Fax +39 0227221239
Tel. +39 065573330
Fax +39 065566517
Tel. +39 0364773202
Tel. +39 0364773217
Web: www.coster.eu

INFORMAZIONI TECNICHE

Numero Verde
800-COSTER
800-267837

ISO 9001:2000
IQNet
Registration Number: IT - 34674
CSQ - Certificate N. 9115.COIE