

La misura dell'energia termica nei circuiti ad acqua

1. La contabilizzazione come necessità legislativa e buona prassi:

- Scelta dei componenti
- Criticità

2. Le misure come diagnosi:

- Verifica corretta gestione
- Verifica consumo
- Ottimizzazione dei parametri di caldaia

1.La contabilizzazione come necessità legislativa e buona prassi

DGR 46-11968 PRESCRIVE IN MODO CHIARO COME COMPORARSI

- 1.4.6 Per tutte le categorie di edifici, ad esclusione di quelli di cui alla Scheda 1, in occasione delle operazioni di cui alle lettere m., n. ed o. ed in caso di sostituzione di generatori di calore (comprendendosi nel concetto di sostituzione del generatore di calore l'allacciamento ad una rete di teleriscaldamento), è prescritta, ove tecnicamente possibile, l'installazione di dispositivi per la **regolazione** automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone che hanno caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi, al fine di non determinare sovra riscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni. L'installazione di detti dispositivi è aggiuntiva rispetto ai sistemi di regolazione di cui all'articolo 7, commi 2, 4, 5 e 6 del d.p.r. 412/1993 e deve comunque essere tecnicamente compatibile con l'eventuale sistema di contabilizzazione.
- 1.4.9 Gli impianti termici installati in edifici di cui alla Scheda 1 con un numero di unità abitative superiore a 4 devono essere di tipo centralizzato e dotati di **termoregolazione** e contabilizzazione del calore per ogni singola unità abitativa

DGR 46-11968 PRESCRIVE IN MODO CHIARO COME COMPORARSI

- 1.4.11 In caso di ristrutturazione totale di edificio di cui alla Scheda 1, che coinvolga, nel caso sia presente, l'impianto termico (anche autonomo) a servizio dello stesso e che comporti, al termine dell'attività edilizia, un numero di unità abitative superiore a 4, l'impianto termico installato deve essere di tipo centralizzato e dotato di **termoregolazione** e contabilizzazione del calore per ogni singola unità abitativa.
- 1.4.13 Gli edifici di cui alle Schede 2, 3, 4, 5 e 6 di nuova costruzione o soggetti ad interventi di cui alla lettera n. nonché, nel caso di interventi di cui alla lettera o. effettuati nell'ambito di ristrutturazioni che coinvolgano l'intero involucro, devono essere dotati di impianto termico centralizzato che permetta la **termoregolazione** e, se necessario, la contabilizzazione del calore per le zone dell'edificio con diverso fattore di occupazione
- 1.4.16 Per interventi di cui alle lettere n. ed o. in edifici di cui alla Schede 2,3,4,5,6, qualor siano circoscrivibili zone di edificio a diverso fattore di occupazione, deve essere previsto un sistema di distribuzione a zone che consenta la **termoregolazione** e, se necessario, la contabilizzazione del calore in relazione ai diversi fattori di occupazione dei locali.

DGR 46-11968 PRESCRIVE IN MODO CHIARO COME COMPORARSI

1.4.17 Fermo restando quanto prescritto dalla d.c.r. 98-1247 dell'11 gennaio 2007, scheda 1E, per gli edifici la cui costruzione è stata autorizzata dopo il 18.07.1991 ed entro il 30.06.2000, gli edifici esistenti di cui alla Scheda 1, la cui costruzione è stata autorizzata prima del 18.07.1991, devono essere sottoposti agli interventi necessari per permettere, ove tecnicamente possibile, la **termoregolazione** e la contabilizzazione del calore per singola unità abitativa:

- nel caso vengano realizzati interventi di cui alle lettere n. ed o. oppure venga sostituito il generatore di calore (comprendendosi nel concetto di sostituzione del generatore di calore l'allacciamento ad una rete di teleriscaldamento);
- in ogni caso entro il 01.09.2012.

Scheda 1N

C) Modalità di distribuzione e di regolazione del calore

Gli impianti **devono** essere dotati di **sistemi automatizzati di regolazione** delle temperatura e della potenza termica erogata **in grado di massimizzare il rendimento di regolazione** mantenendo le idonee condizioni di comfort nel pieno rispetto delle temperature massime previste dalla normativa vigente.

La misura della potenza termica

E' una misura indiretta, occorre conoscere la portata, la differenza di temperatura e la capacità termica del fluido.

$$P = C_p \times (T_m - T_r) \times q_w$$

Cp: errore derivante dalla presenza di glicole.

La misura della potenza termica

- L'errore di misura dipende in gran parte dalle differenze di temperature
- E' una misura "difficile" su impianti esistenti
- E' una misura necessaria e sempre più richiesta nei contratti di gestione calore

Misurare la portata

Strumenti fissi:

- Misuratori volumetrici
- Misuratori ad ultrasuoni (intr, non intr.)
- Misuratori a campo magnetico

Strumenti portatili ad ultrasuoni

Misurare la portata

- Direttiva MID
- Precisione possibile
- Contatore acqua con uscita impulsiva (per la registrazione)

Direttiva MID

- D.Lgs 2 febbraio 2007 n22 Allegato MI-004
- Specifico sui misuratori di calore diretti

Allegati Specifici - Allegato MI-004

CONTATORI DI CALORE

I requisiti pertinenti dell'allegato I, i requisiti specifici e le procedure di accertamento di conformità elencati in questo allegato si applicano ai contatori di calore di seguito descritti e destinati ad uso residenziale, commerciale e per l'industria leggera.

Direttiva MID

- n°2 classi di accuratezza

2. Classi di accuratezza

Per i contatori di calore si definiscono le seguenti classi di accuratezza: classe 2, classe 3.

Direttiva MID

- Errore massimo sul misuratore di portata

7.1. L'errore massimo tollerato del sensore di flusso, espresso in % per le classi di accuratezza:

- ~~- Classe 1: $E_f = (1 - 0,01 qp/q)$, ma non superiore a 5%,~~
- Classe 2: $E_f = (2 - 0,02 qp/q)$, ma non superiore a 5%,
- Classe 3: $E_f = (3 - 0,05 qp/q)$, ma non superiore a 5%,

dove l'errore E_f si riferisce al valore indicato come valore reale della relazione tra il segnale di uscita del sensore di flusso e la massa o volume.

Direttiva MID

- Errore massimo sulle sonde di temperatura

7.2. L'errore massimo tollerato per la coppia di sensori di temperatura, espresso in %:

$$- Et = (0,5 + 3 \Delta\theta_{\min}/\Delta\theta),$$

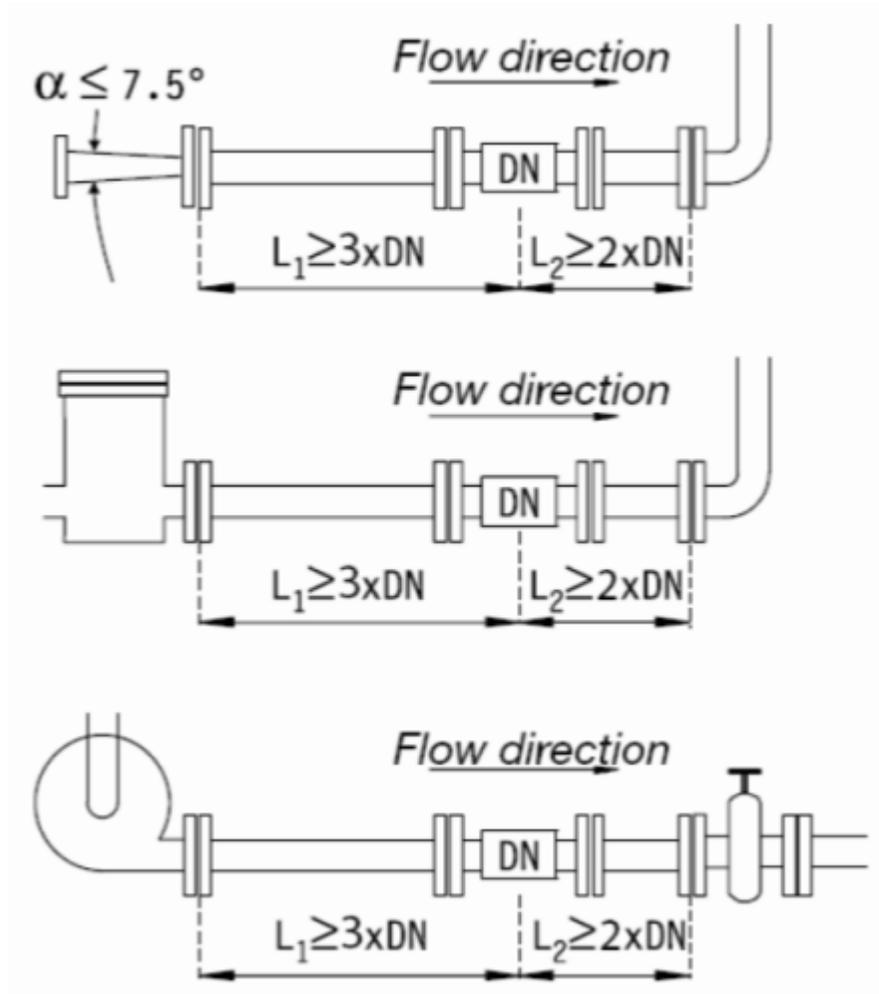
dove l'errore Et si riferisce al valore indicato come valore reale della relazione tra segnale di uscita della coppia di sensori di temperatura e differenza delle temperature.

Errori di misura tipici

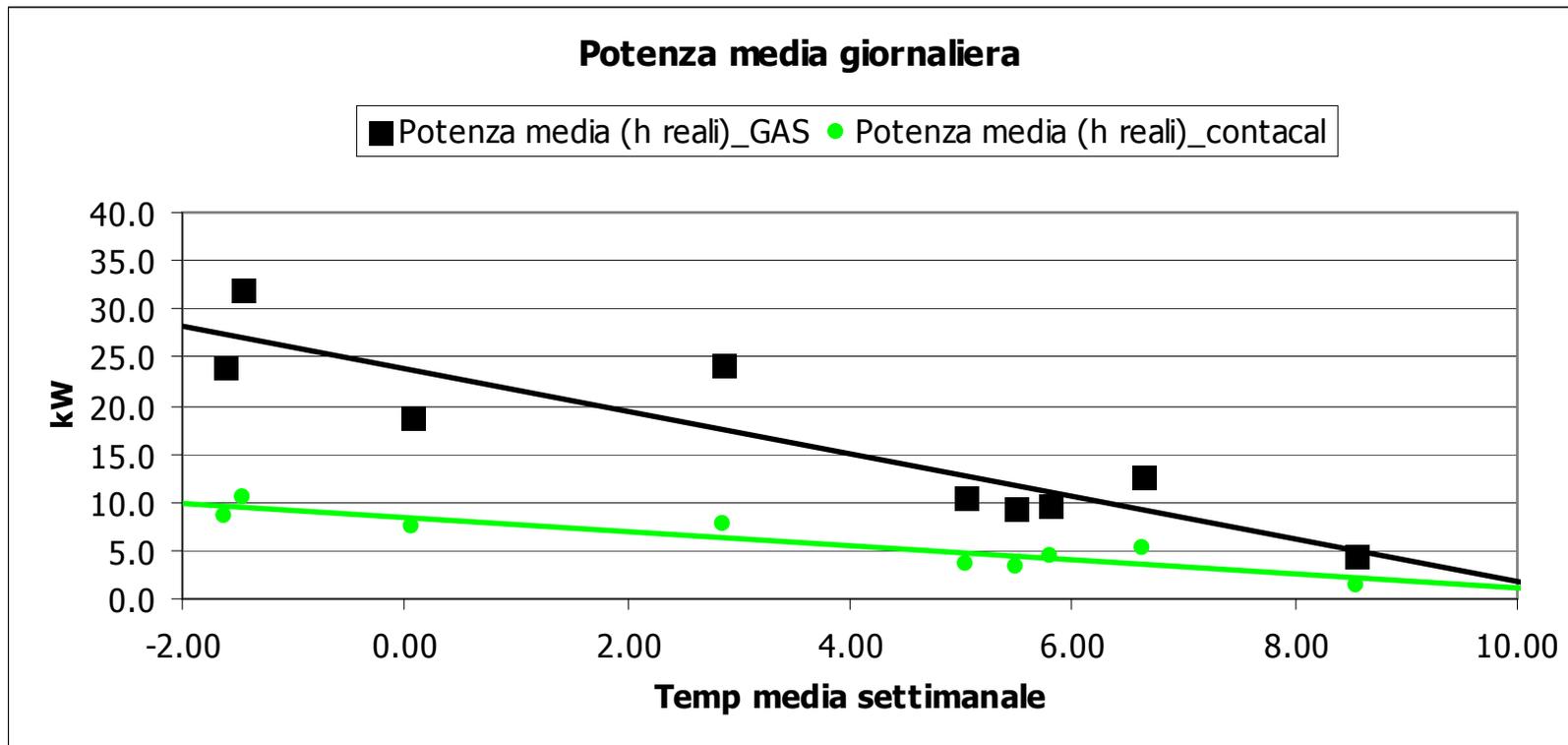
Errori relativi al misuratore di portata:

- Errata installazione misuratore di portata (curve, valvole)
- Errata impostazione centralina (moltiplicatore portata errato)
- Errato dimensionamento misuratore portata

Errata installazione



Errata impostazione centralina



Errato dimensionamento misuratore portata

Generalmente non causa grandi inconvenienti, a meno che la portata reale sia inferiore a quella minima misurabile dal misuratore.

La q_{min} è indicata nelle schede tecniche.

Misurare la portata

- Misuratori volumetrici

Alta precisione

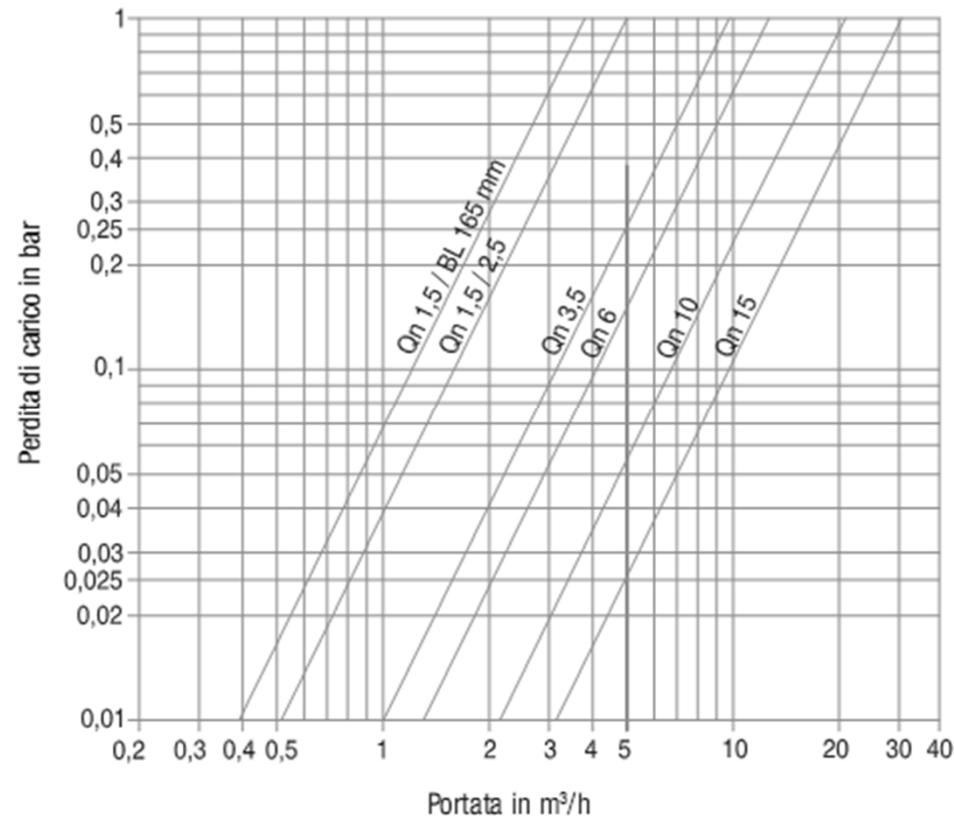
Basso costo

Perdite di carico elevate



Misurare la portata

- Perdite di carico misuratore volumetrico



Misurare la portata

- Misuratori ad ultrasuoni

Alta precisione

Piccole perdite di carico

Costo medio

Influenzati da “accidenti” (valvole, curve) (10 DN)



Misurare la portata

Misuratori a campo magnetico

Alta precisione

Minime perdite di carico

Minima influenza dovuti agli accidenti (2-3 DN)

Costo elevato



Misurare la potenza termica, installazioni fisse



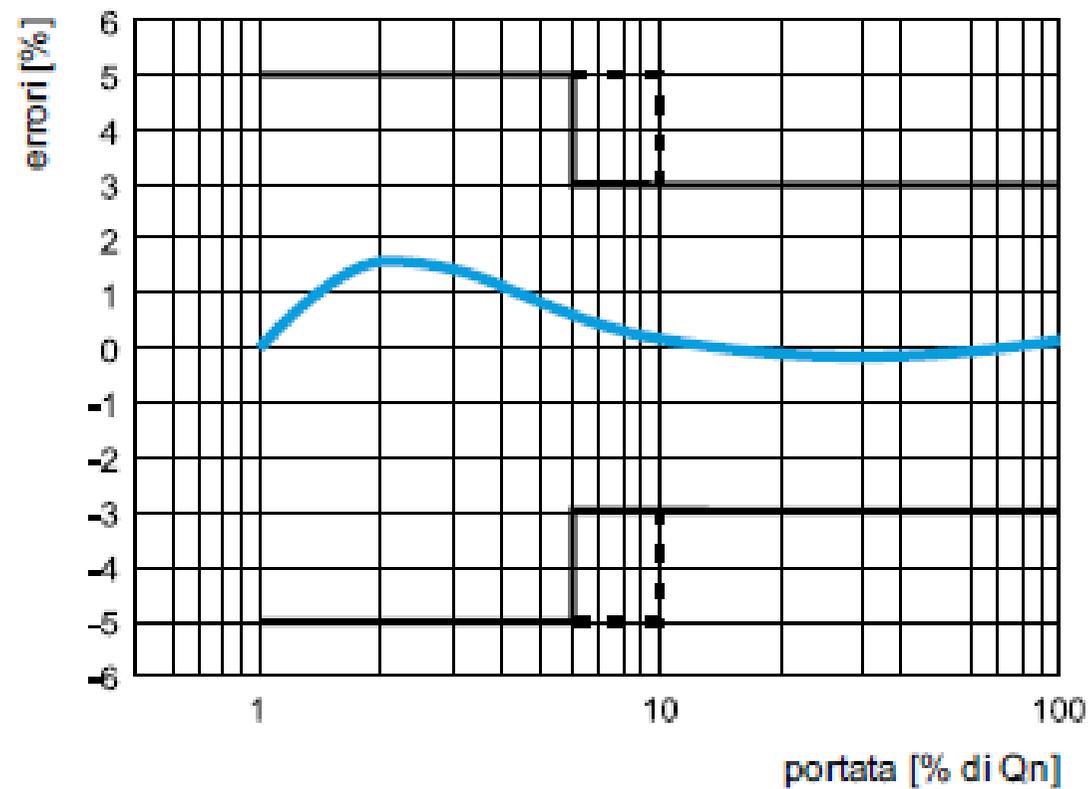
Dati tecnici misuratore

Campo di temperatura parte elettronica	°C	1 – 130		
Campo di temperatura parte volumetrica	°C	10 – 90		
Differenza di temperatura	k	3 – 100		
Tipo sonda		PT500, PT1000		
Campo di temperatura delle sonde	°C	0 – 105 (130)		
Diametro sonda	mm	5,0/DS secondo EN 1434		
Lunghezza cavo sonda	m	1,5 (a richiesta 3/5)		
Portata nominale q_p	m ³ /h	0,6	1,5	2,5
Diametro nominale DN	mm	15	15	20
Lunghezza variante a getto unico	mm	110	110	130
Portata minima q_i (classe A)	l/h	24	60	100
Portata massima q_s	m ³ /h	1,2	3	5
Pressione di esercizio, max.	bar	16		
Perdita di carica a q_p	bar	< 0,25		
Tipico valore di transizione				
variante a getto multiplo orizzontale ca.	l/h	4	4	6
variante a getto unico orizzontale ca.	l/h	6	6	12

Dati tecnici misuratore

Campo quadrante LCD		A 8 cifre		
Batteria	V	Al litio 3,0		
Durata batteria	Anni	> 6		
Classe di protezione		IP 54		
Temperatura ambiente	°C	0 – 55		
Peso capsula di misurazione	g	ca. 680		
Campo di misurazione		1:100		
Classe metrologica		C*H	C*H	C*H
		B*V	C*V	C*V
Portata con 0,1 bar perdita di carico	m³/h	0,8	1,1	1,2
Classe metrologica secondo normativa MID		3		
Classe ambientale		A		

Dati tecnici misuratore calore



Tipica curva di misurazione

La misura della temperatura

Esistono 2 fondamentali tipi di sensore:

- Termocoppia
- Termoresistenza

Fondamentale è la posa. Deve essere assicurato il contatto tra sensore e superficie: pozzetto della giusta misura e pasta termica.

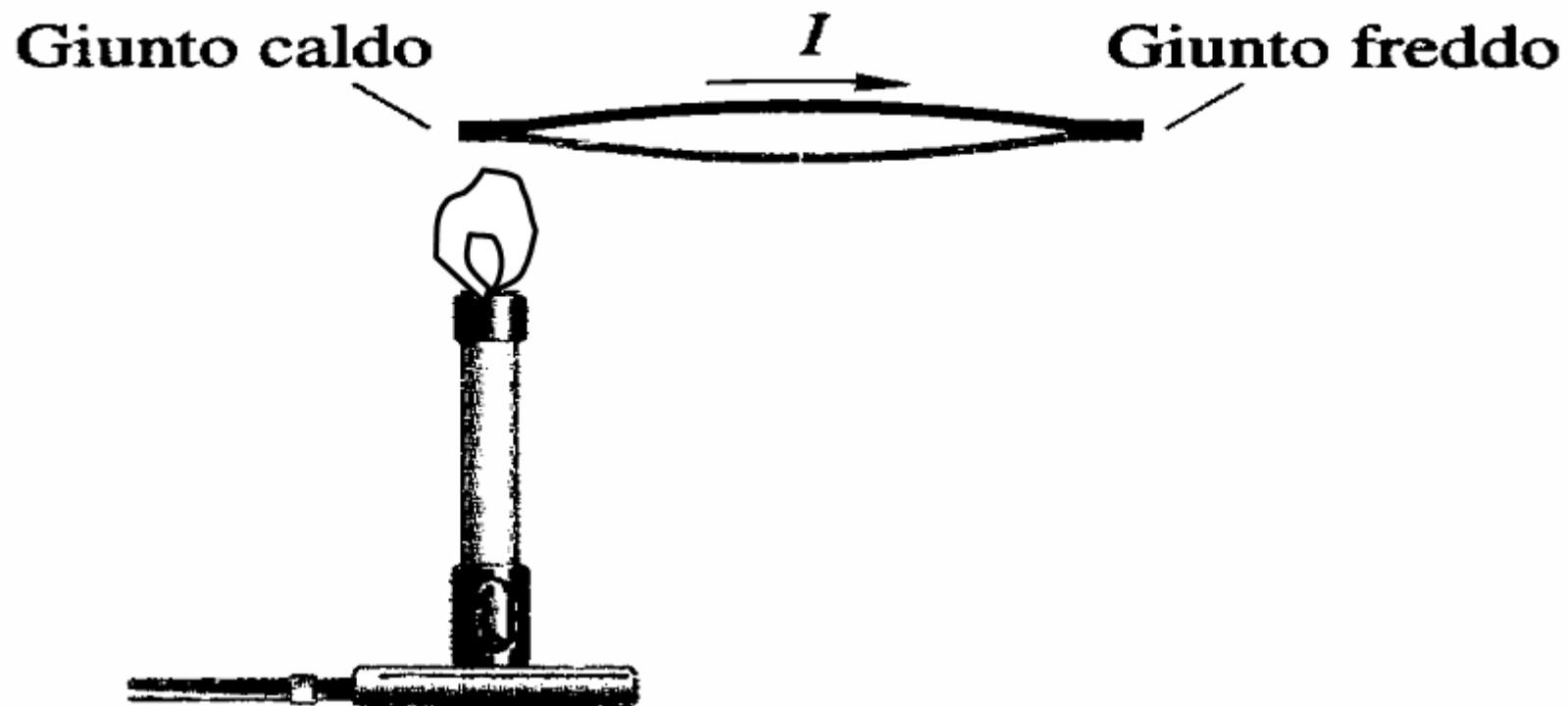
La Termocoppia

La termocoppia è composta da due metalli uniti fra loro, sfrutta l'effetto Seebeck:

Due giunzione tra due metalli, poste a temperatura differente generano una differenza di potenziale (V).
Tale differenza è funzione della differenza di temperatura



La Termocoppia



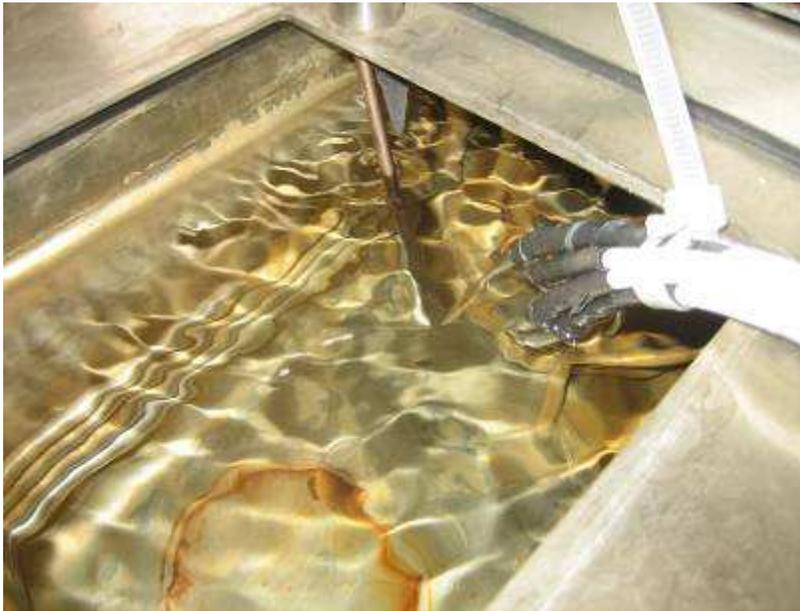
La Termocoppia

La termocoppia è largamente utilizzata per la sua economicità, necessita di un circuito elettronico di compensazione e può essere delicata.

I tempi di risposta delle termocoppie sono estremamente rapidi (<0.1 sec.)

La Termoresistenza

La termoresistenza è sempre più usata nei sistemi di gestione e monitoraggio. Consente precisioni più elevate della termocoppia. Le più diffuse sono le Pt100 e le Pt1000, a base di Platino. Il principio di funzionamento è basato sulla variazione di resistenza al variare della temperatura. I tempi di risposta sono nell'ordine del secondo.



Quando occorre fare le misure

- E' necessario sapere come programmare/controllare i sistemi di regolazione
- E' necessario avere delle linee guida sulla verifica dei sistemi di contabilizzazione

LA PROGETTAZIONE

Il progettista è spesso davanti ad un bivio

CALCOLI CON LA REGOLA DEL POLLICE:

- VELOCE
- FONDATO SU ESPERIENZA
- SICURAMENTE ECCESSIVI
- TROPPO SEMPLICI PER SITUAZIONI COMPLESSE

CALCOLI CON SOFTWARE SPECIFICI:

- DETTAGLIATO
- IMPIANTI CORRETTAMENTE DIMENSIONATI
- LUNGO E COSTOSO
- A VOLTE LA SOFISTICAZIONE PORTA AD ERRORI CONCETTUALI (es. free-cooling notturno ATC)

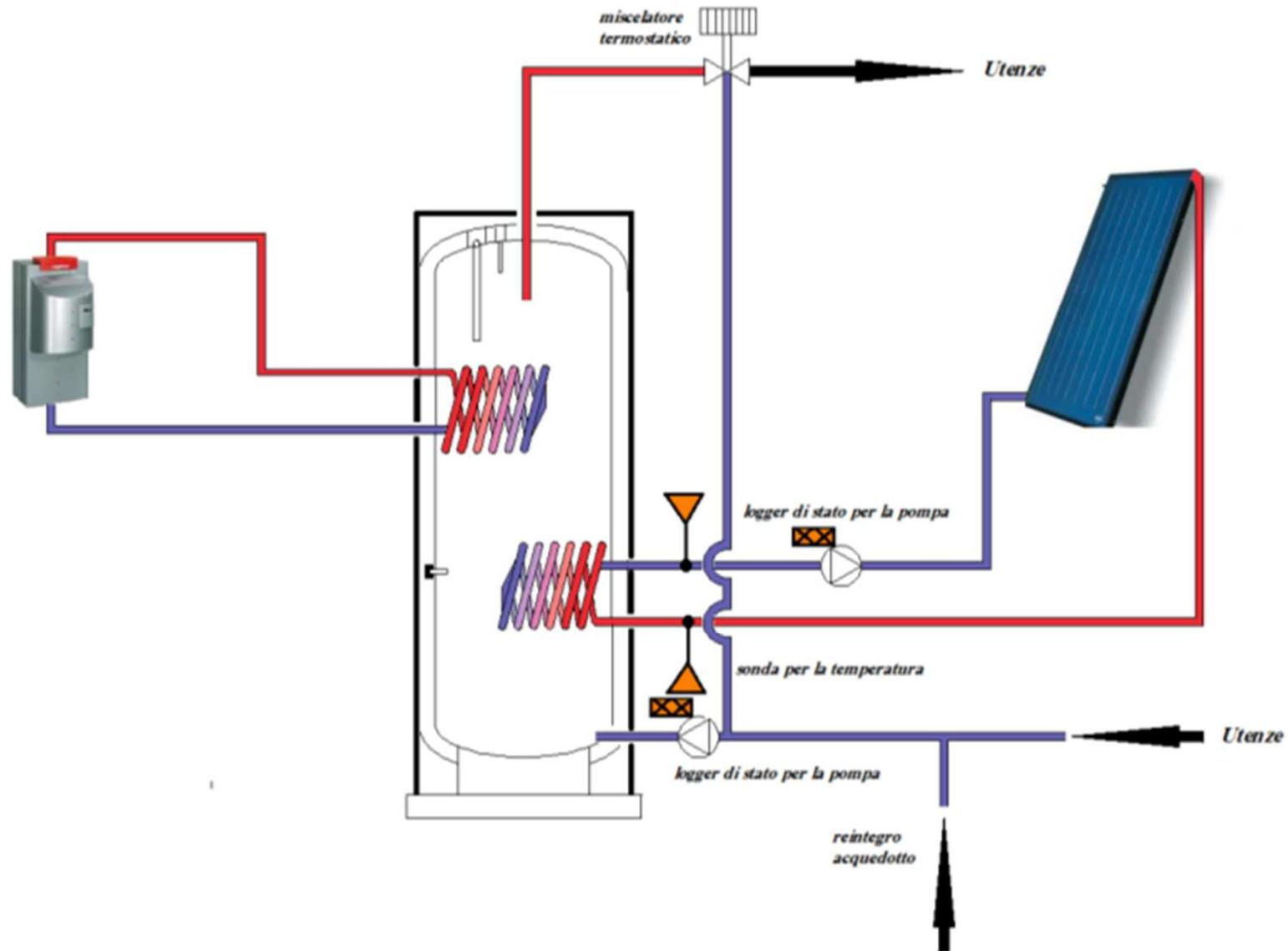
A cosa servono le misure

- Consente di verificare le ipotesi progettuali
- Consente di verificare la gestione degli impianti
- Dà un valore reale del consumo energetico
- Fornisce elementi certi su cui basare modifiche, integrazioni, azioni legali...
- Misurare il rendimento della caldaia

Esempi di casi studio

- A. Misurazione prestazioni di collettori solari termici
- B. Verifica dell'installazione di contatori di calore diretti

A) Prestazioni di collettori solari



A) Prestazioni di collettori solari

- La misura delle prestazioni dei collettori solari può essere fatta anche in inverno
- Il tempo di misura non può essere superiore ai 15-30 giorni
- La strumentazione può essere portatile o fissa

Caso studio:

- periodo di monitoraggio variabile fra 10 e 18 giorni
- Time step 10 minuti.
- Misura di: temperature di mandata e ritorno, portata del circuito solare all'accumulo.

A) Prestazioni di collettori solari



A) Prestazioni di collettori solari



Centralina "solare": criterio di funzionamento a ΔT .



Sonde di temperatura: fissaggio inadeguato, mancanza di pasta termica

A) Prestazioni di collettori solari



Taglio della coibentazione esistente



rimozione della coibentazione



preparazione del tubo con carta abrasiva



installazione del misuratore

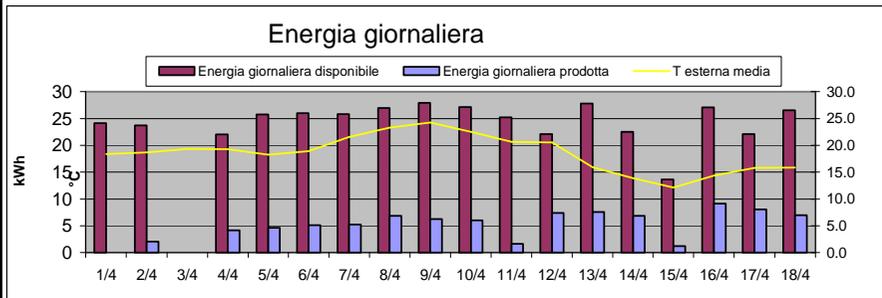
A) Prestazioni di collettori solari

Data inizio	01/04/2011 11.20
Data fine	19/04/2011 10.10
Giorni totali	18

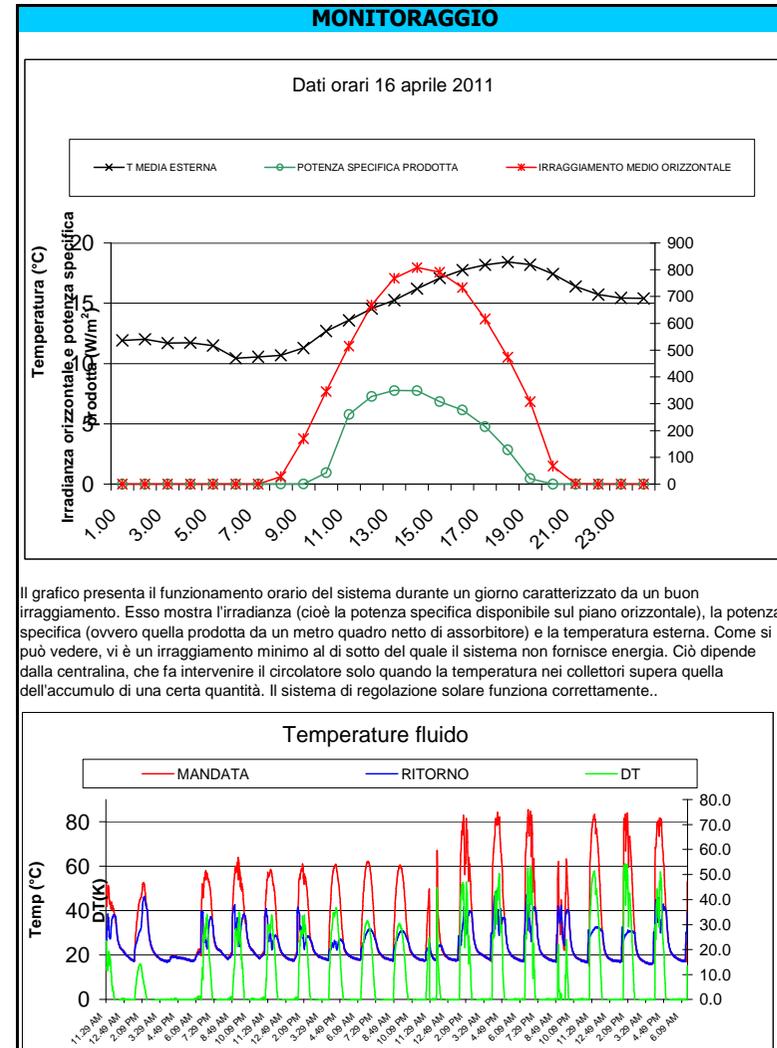
Potenza massima teorica ¹	2.8 kW
Potenza massima utile al bollitore rilevata ²	1.4 kW
T max rilevata ingresso bollitore	85.4 °C

¹ assumendo un rendimento del 70% con condizioni di irradianza pari a 1 kW/m²

² rilevata su base oraria



L'istogramma mostra l'energia disponibile (cioè l'energia specifica sul piano dei pannelli moltiplicata per l'area netta degli assorbitori) e l'energia prodotta (ceduta dai pannelli all'accumulo). La linea gialla rappresenta la temperatura esterna.



Il grafico presenta il funzionamento orario del sistema durante un giorno caratterizzato da un buon irraggiamento. Esso mostra l'irradianza (cioè la potenza specifica disponibile sul piano orizzontale), la potenza specifica (ovvero quella prodotta da un metro quadro netto di assorbitore) e la temperatura esterna. Come si può vedere, vi è un irraggiamento minimo al di sotto del quale il sistema non fornisce energia. Ciò dipende dalla centralina, che fa intervenire il circolatore solo quando la temperatura nei collettori supera quella dell'accumulo di una certa quantità. Il sistema di regolazione solare funziona correttamente..

Dati meteo

- Volendo simulare il comportamento dei collettori sull'arco dell'anno occorre recuperare i dati meteo relativi al periodo di misura.
- Ciò è possibile con una misura diretta (sonda esterna e solarimetro) o più facilmente contattando l'ARPA regionale per chiedere se una centralina meteo è presente nella zona circostante.
- Poichè il fattore principale che influenza la produttività è l'irraggiamento solare si possono utilizzare dati nell'arco di circa 30 km (a patto di non avere ombreggiamenti particolari).

Dati meteo

- Solitamente i dati vengono forniti in formato .csv, facilmente importabile in excel

Torino-2012-Febbraio.csv - Blocco note

File Modifica Formato Visualizza ?

LOCALITA	DATA	TMEDIA °C	TMIN °C	TMAX °C	PUNTORUGIADA °C	UI
Torino	1/2/2012	-5	-8	-2	0	97
Torino	2/2/2012	-3	-5	-1	0	95
Torino	3/2/2012	-5	-8	-3	0	80
Torino	4/2/2012	-7	-11	-2	0	79
Torino	5/2/2012	-8	-12	-3	0	80
Torino	6/2/2012	-8	-14	-3	0	76
Torino	7/2/2012	-7	-14	-1	0	78
Torino	8/2/2012	-1	-4	2	0	81
Torino	9/2/2012	-3	-7	6	0	77
Torino	10/2/2012	-3	-8	0	0	71
Torino	11/2/2012	-4	-5	-3	0	78
Torino	12/2/2012	-4	-8	0	0	74
Torino	13/2/2012	-4	-9	1	0	70
Torino	14/2/2012	-2	-9	6	0	71
Torino	15/2/2012	1	-5	12	0	61
Torino	16/2/2012	3	-1	12	0	59
Torino	17/2/2012	3	-1	8	0	66
Torino	18/2/2012	2	-2	6	1	78
Torino	19/2/2012	3	-1	9	2	87
Torino	20/2/2012	3	1	5	2	90
Torino	21/2/2012	4	2	8	1	74
Torino	22/2/2012	5	-1	11	0	65
Torino	23/2/2012	4	-1	13	0	61
Torino	24/2/2012	10	1	19	2	54
Torino	25/2/2012	11	4	20	3	58
Torino	26/2/2012	9	4	19	3	60

1	LOCALITA	DATA	TMEDIA °C	TMIN °C	TMAX °C
2	Torino	01/02/2012	-5	-8	-2
3	Torino	02/02/2012	-3	-5	-1
4	Torino	03/02/2012	-5	-8	-3
5	Torino	04/02/2012	-7	-11	-2
6	Torino	05/02/2012	-8	-12	-3
7	Torino	06/02/2012	-8	-14	-3
8	Torino	07/02/2012	-7	-14	-1
9	Torino	08/02/2012	-1	-4	2
10	Torino	09/02/2012	-3	-7	6
11	Torino	10/02/2012	-3	-8	0
12	Torino	11/02/2012	-4	-5	-3
13	Torino	12/02/2012	-4	-8	0
14	Torino	13/02/2012	-4	-9	1
15	Torino	14/02/2012	-2	-9	6
16	Torino	15/02/2012	1	-5	12
17	Torino	16/02/2012	3	-1	12
18	Torino	17/02/2012	3	-1	8
19	Torino	18/02/2012	2	-2	6
20	Torino	19/02/2012	3	-1	9
21	Torino	20/02/2012	3	1	5
22	Torino	21/02/2012	4	2	8
23	Torino	22/02/2012	5	-1	11
24	Torino	23/02/2012	4	-1	13
25	Torino	24/02/2012	10	1	19

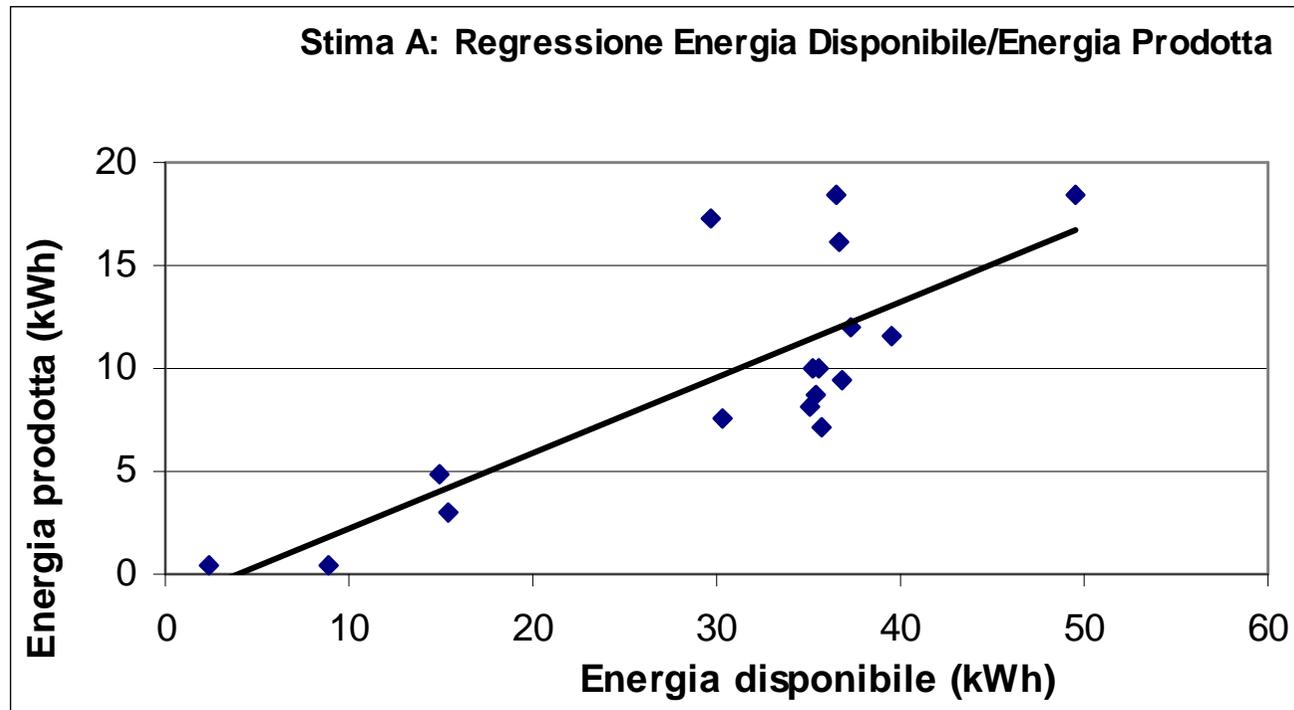
Dati meteo

- Solitamente i dati vengono forniti in formato .csv, facilmente importabile in excel

Data E Ora	Umidit↔ Relativa - %	Temp. Aria - 'c	Rad Globale
01/05/2011 06.30.00	84	11,9	4
01/05/2011 06.45.00	85	11,8	16
01/05/2011 07.00.00	86	11,6	36
01/05/2011 07.15.00	86	11,7	66
01/05/2011 07.30.00	85	12	101
01/05/2011 07.45.00	82	12,4	139
01/05/2011 08.00.00	77	12,9	184
01/05/2011 08.15.00	71	13,3	227
01/05/2011 08.30.00	67	13,7	272
01/05/2011 08.45.00	65	14	314
01/05/2011 09.00.00	61	14,6	361
01/05/2011 09.15.00	61	14,7	406
01/05/2011 09.30.00	61	15,4	449
01/05/2011 09.45.00	60	15,6	497
01/05/2011 10.00.00	60	16,3	538
01/05/2011 10.15.00	61	16,3	578
01/05/2011 10.30.00	60	16,4	616
01/05/2011 10.45.00	59	17	654
01/05/2011 11.00.00	58	17,4	687

Stima A

$$E_p = a E_d + b$$



Stima B

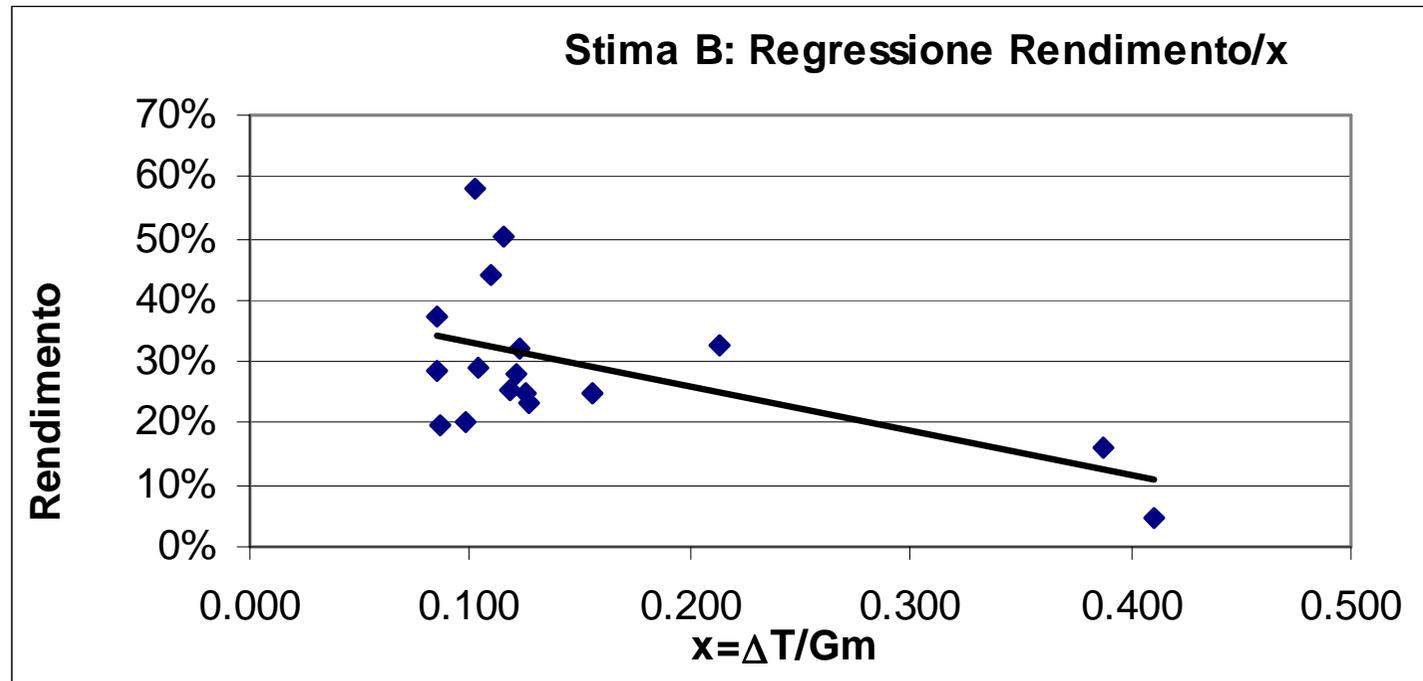
$$x = \frac{\bar{T}_c - \bar{T}_e}{(H/h_{\text{sun}})} = \frac{\bar{T}_c - \bar{T}_e}{\bar{G}} \quad \eta = a x + b$$

Tale stima è più corretta, da un punto di vista fisico, poiché tiene conto anche della variabilità delle dispersioni termiche del collettore, al variare della differenza di temperatura tra fluido nel collettore ed ambiente esterno.

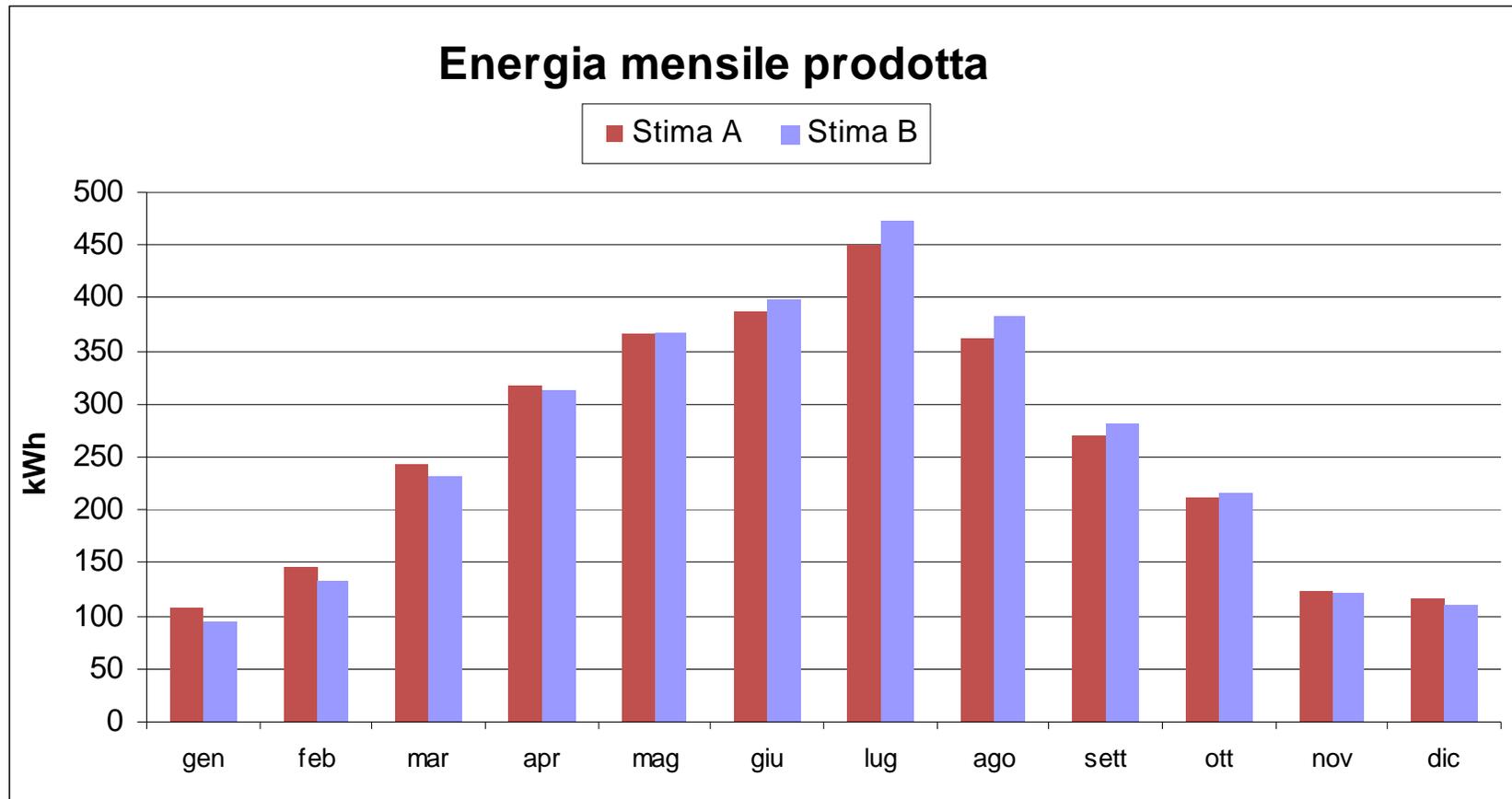
Per il calcolo dei parametri si è seguito il seguente procedimento:

- calcolo della temperatura media del fluido (\bar{T}_c) nel collettore nelle ore di funzionamento (come media tra ingresso e uscita del fluido)
- calcolo della differenza tra la temperatura \bar{T}_c e la temperatura media esterna \bar{T}_e
- calcolo della radianza solare media \bar{G} , a partire dall'irraggiamento solare giornaliero H e dalle ore di sole h_{sun}

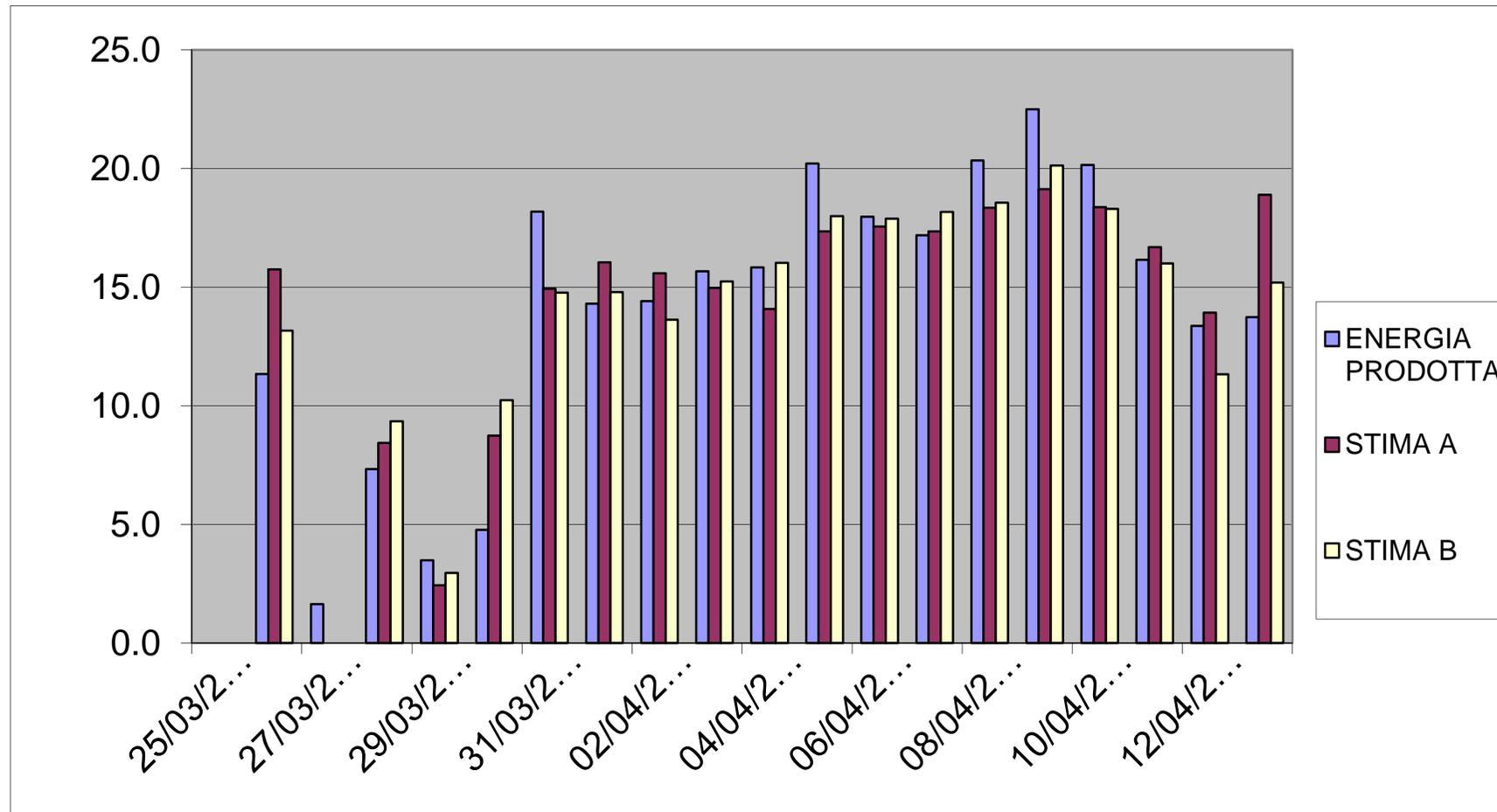
Stima B



A) Prestazioni di collettori solari



A) Prestazioni di collettori solari



A) Prestazioni di collettori solari

- Calcolo del tempo del risparmio energetico annuo
- Le misure permettono di stimare la produzione energetica annuale dei collettori.
- Le produzioni stimate hanno un valore variabile tra i 300 e i 570 kWh/m² annui. Tale variabilità è dovuta principalmente al funzionamento della centralina, alla corretta esposizione dei collettori.
- 400 kWh, prodotti con gas naturale, rappresentano circa 47 standard metri cubi di metano ($\eta = 0.87\%$). Cioè circa 320 € di solo combustibile.

A) Prestazioni di collettori solari

- Il monitoraggio ha dato risultati soddisfacenti per oltre la metà degli impianti. Purtroppo, sono state rilevate anche numerose anomalie, in genere a causa del non corretto funzionamento del sistema di controllo.
- Alcune conclusioni di validità generale:
 - La progettazione degli impianti esaminati non risponde a schemi standard.
 - Alcuni impianti sono stati installati con orientamento poco favorevole, anche su tetti piani
 - In nessuno degli impianti sembra che sia mai stata eseguita la fase di *commissioning*. In particolare, risultano mal posizionati i sensori di temperatura.
 - Lo stato di manutenzione è nella media buono.
 - Circa la metà degli impianti presentava un misuratore di calore sul circuito solare. I dati principali sono rilevati e visibili sotto forma di valore cumulato, ma non vengono memorizzati né trasmessi.

B) Verifica dell'installazione di contatori di calore diretti

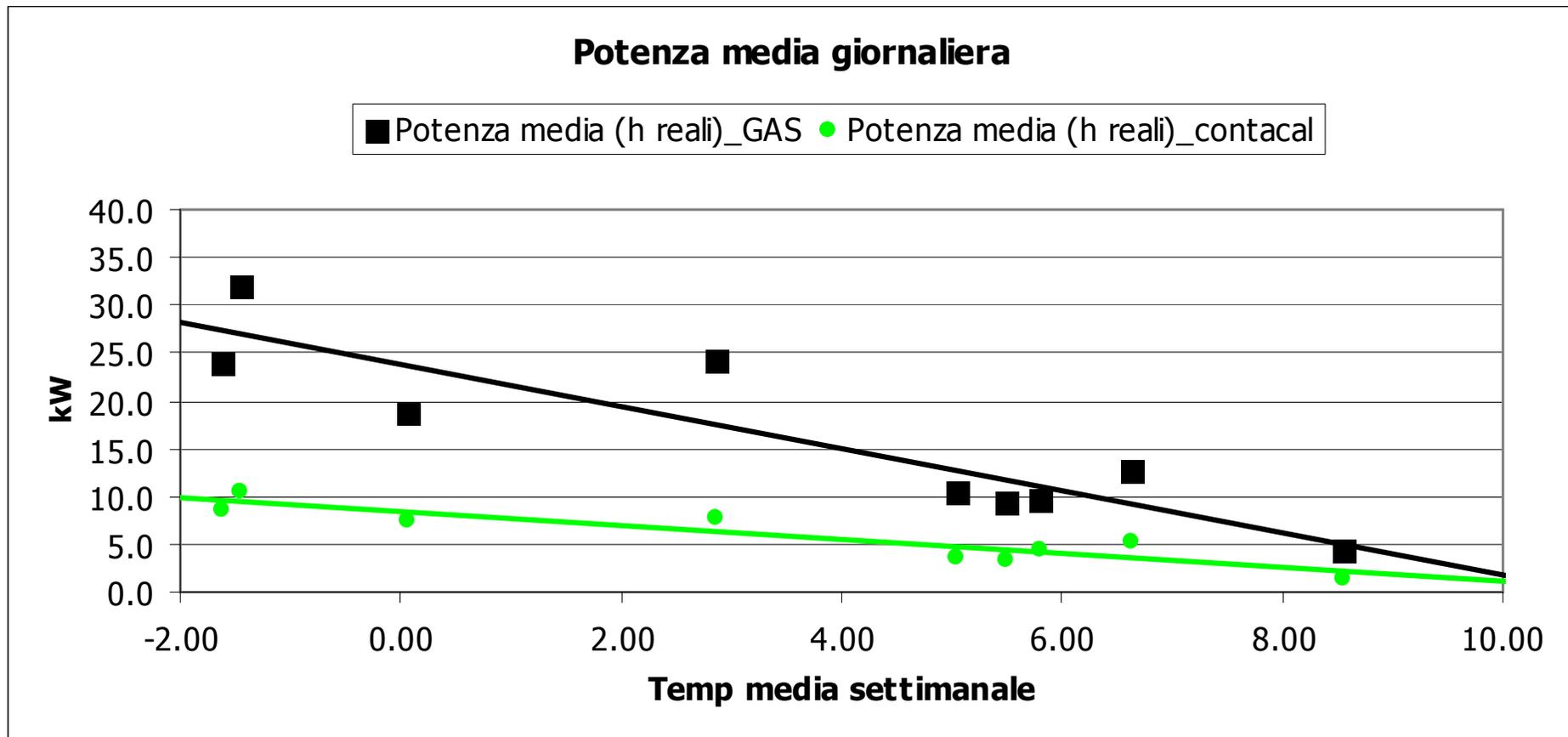
- Lo studio ha come obiettivo la verifica dei contatori di calore attualmente installati negli edifici di un Comune. Oltre alla verifica documentale dei dati acquisiti dai misuratori e dai contatori del gas, si è proceduto alla verifica delle perdite di carico in caso di sostituzione dei contatori, nonché ad alcune ipotesi progettuali per la modifica degli impianti.
- In base ai dati forniti si sono confrontati i valori di consumo di gas con i valori di potenza termica fornita al secondario, misurata con gli installatori attuali.

B) Verifica dell'installazione di contatori di calore diretti

Edificio	Q min	Q max	Q nominale	DN	q min mis attuale
	l/h	l/h	l/h	mm	l/h
Palazzetto	8400	8800	8600	65	2000
Scuola materna	2900	5000	4000	50	200
Scuole elementari e Medie	16000	16500	16500	80	2400
Biblioteca	600	800	700	25	70
Municipio	22000	24000	23000	80	2000

Edificio	Confronto GAS/contacalorie	NOTE	IPOTESI MISURATORE NUOVO	DN
Palazzetto	DATI NON DISPONIBILI		MTH QN 10, 1" 1/2	40
Scuola materna	DATI INSUFFICIENTI, ma valido dal 16.02.2010		V. RELAZIONE	32
Scuole elementari e Medie	OTTIMO (da dati disponibili)	93,4% stagionale	WPH DN 50	50
Biblioteca	DA RITARARE		MTH QN 1.5, 1/2"	15
Municipio	OTTIMO	94,3% stagionale	WPH DN 65	65

B) Verifica dell'installazione di contatori di calore diretti



B) Verifica dell'installazione di contatori di calore diretti

- In quasi tutti i casi i misuratori di calore erano sovra-dimensionati.
- Il criterio di dimensionamento è stato il diametro dei tubi del circuito primario.
- Alcuni misuratori, seppur sovra-dimensionati, sono in grado di dare risultati affidabili.
- Un misuratore era stato montato con la sonda temperatura di mandata sul circuito primario e quella di ritorno sul circuito secondario.
- Due misuratori avevano una costante errata relativamente alla lettura impulsi del misuratore di portata.
- In generale le efficienze stagionali di produzione delle caldaie considerate è stata del 93-94%.

Quando i conti tornano

1

Consumi di gas e produzione energia termica forniscono valori di efficienza molto bassi (<90%)

2

Verificare installazione misuratore calore

3

Verificare funzionamento caldaia

4

Verificare contatore fiscale del gas...