



EcoThermo

14 luglio 2014

Limiti delle tecniche di contabilizzazione indiretta dell'energia termica nell'applicazione in contesti reali

Giorgio Ficco

Università degli Studi di Cassino
e del Lazio Meridionale



Sommario

- ✚ Introduzione e scenario normativo
- ✚ Analisi metrologica dei dispositivi di contabilizzazione del calore
- ✚ Risultati di un'analisi sperimentale in campo
- ✚ Conclusioni

Introduzione e scenario normativo

Livello COMUNITARIO

Direttiva 2010/31/UE «EPBD recast»

fatturazione basata sul reale consumo come strumento di risparmio energetico nel settore residenziale.

Direttiva 2012/27/UE

contabilizzazione energia termica come strumento per migliorare l'efficienza energetica obbligo di installazione di dispositivi di contabilizzazione entro 2016.

Livello NAZIONALE

Legge 373/76 e D.P.R n. 1052/77

primi riferimenti ai sistemi di contabilizzazione.

Legge 10/91 e D.P.R. 551/99

sistemi di contabilizzazione obbligatori per nuove costruzioni

D. Lgs. 192/05 e s.m.i. e D.P.R. 59/09*

introduzione sistemi di contabilizzazione nelle ristrutturazioni e installazione impianto termico in alcune tipologie di edifici.

* introduce un MPE per la contabilizzazione pari al 5% (art.4 comma 1)

D.P.R. 74/2013

funzionamento impianto di riscaldamento centralizzato h24 in caso di termoregolazione e contabilizzazione del calore.

Livello REGIONALE

Lombardia, Piemonte, Provincia autonoma di Bolzano, Lazio, Valle D'Aosta*, Liguria* e Emilia Romagna**

** non sono state fissate scadenze

Configurazioni tipiche impianti di heating/cooling centralizzati:

figura A.1 Impianto tradizionale a colonne montanti con distribuzione dal basso (a sorgente)

Legenda

- 1 Caldaia
- 2 Pompa di circolazione
- 3 Primo piano
- 4 Piano secondo
- 5 Piano sottotetto
- 6 Tubo di sicurezza
- 7 Vaso d'espansione aperto
- 8 Rete
- 9 Rete di sfogo aria
- 10 Particolare radiatore
- 11 Valvola di regolazione modulante
- 12 Detentore
- 13 Distribuzione a soffitto del piano cantinato

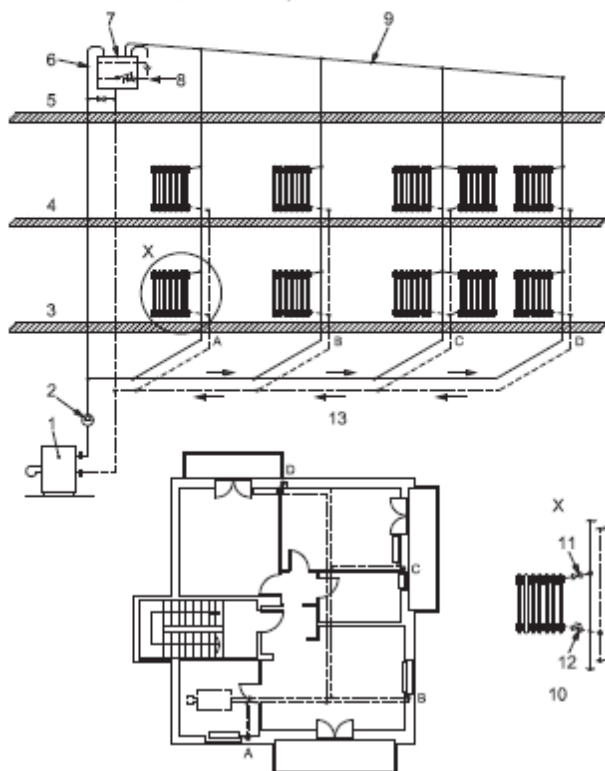
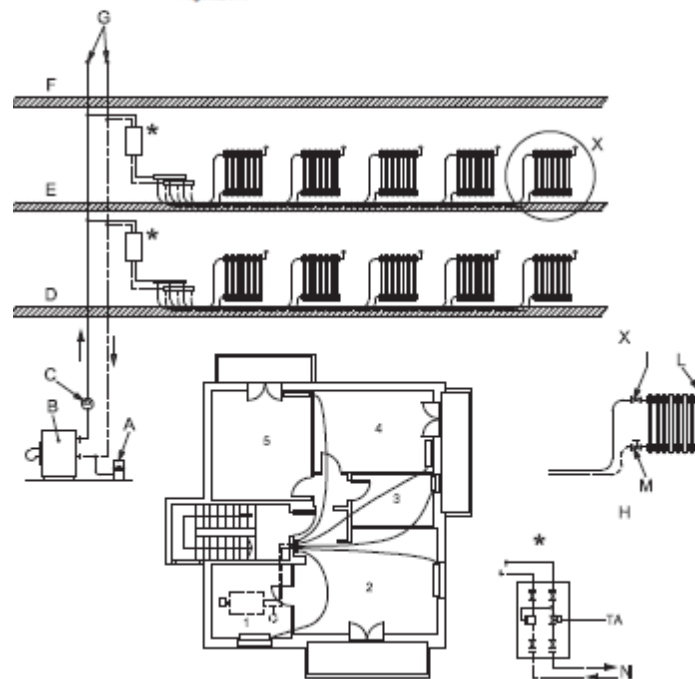


figura A.2 Impianto a distribuzione orizzontale, a collettori complanari

Legenda

- A Vaso d'espansione
- B Caldaia
- C Pompa di circolazione
- D Piano primo
- E Piano secondo
- F Piano sottotetto
- G Dispositivi sfogo aria
- H Particolare radiatore
- I Valvola di regolazione modulante
- L Dispositivo sfogo aria
- M Detentore
- N Ai collettori
- * Cassetta di derivazione di zona contenente gli organi di intercettazione contabilizzazione e regolazione



Analisi metrologica dispositivi di contabilizzazione

Contabilizzazione diretta:

Heat meter - Contatori di Energia Termica

(MI-004:2014, serie EN 1434, serie OIML R75).

- ☐ Effettuano la misura dell'energia termica attraverso la misura della quantità di fluido termovettore e della differenza di entalpia tra fluido vettore in entrata ed in uscita dall'utenza.
- ☐ Approvazione MID e verifica prima in fabbrica
- ☐ Verifiche periodiche (DM 155/2013)



$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{V} \rho(T) c_p(T) \Delta T_{cl,i} dt = \int_{t_1}^{t_2} \dot{V} K \Delta T_{cl,i} dt$$

$$K(T_{in}, T_{out}) = \bar{\rho}(T_{in}, T_{out}) \cdot \bar{c}_p(T_{in}, T_{out})$$

Q thermal energy supplied during the heating period, kWh;

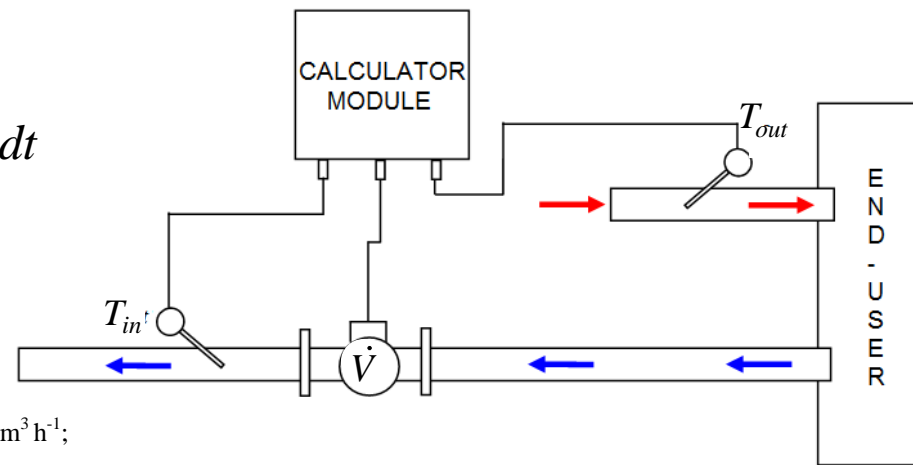
\dot{V}_i average volumetric flow-rate of the heat conveying fluid in the i^{th} time interval, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$;

ρ_i average density of the heat conveying fluid in the i^{th} time interval, kg m^{-3} ;

$c_{p,i}$ heat capacity at constant pressure of the heat conveying fluid in the i^{th} time interval, $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

$\Delta T_{cl,i}$ temperature difference of the heat conveying fluid entering and leaving the system in the i^{th} time interval, $^{\circ}\text{C}$;

t_i i^{th} time interval, h;



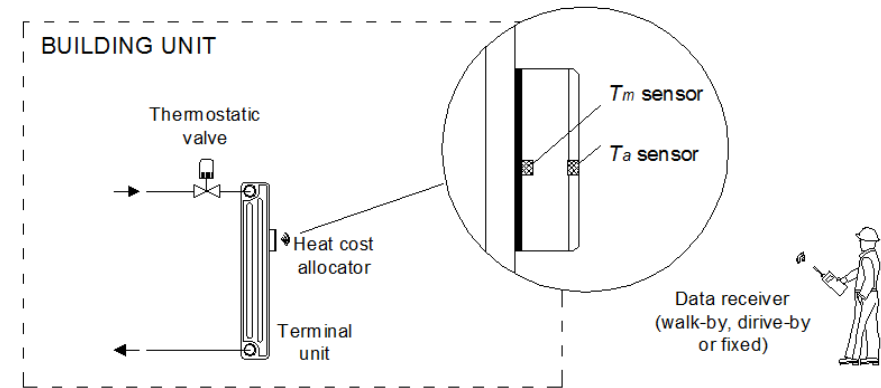
Direct Heat Meters (MID Class 2)

Uncertainty Contribution		Typical error	Relative weighted factor	Relative uncertainty		
				min	max	typical
Temperature difference of the heat conveying fluid, $\Delta T_{cl,i}$		$0.5 + 3 \frac{\Delta T_{cl,i,\min}}{\Delta T_{cl,i}} \%$	1	0.6%	3.5%	1.0%
Vol. flow-rate of the heat conveying fluid, \dot{V}_i		$2 + 0.02 \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_i} \%$	1	2.0%	7.0%	3.0%
Calculator and accounting interval		$0.5 + \frac{\Delta T_{cl,i,\min}}{\Delta T_{cl,i}} \%$	1	0.5%	1.5%	0.7%
Installation effects	Thermal properties	2-4%	1	2.0%	4.0%	3.0%
	Fluid-dynamic (swirl, elbow)					
	Temp. sensors immersion depth					
Expanded uncertainty				2.9%	8.9%	4.4%

Contabilizzazione indiretta (1)

Heat cost allocators - Ripartitori di calore (EN 834:2013)

- ❑ Determinano le unità di consumo sulla base della temperatura del corpo scaldante e della temperatura ambiente;
- ❑ Assenza di normativa cogente per approvazione di modello, verifica prima e periodica



$$Q \propto U_{A,i} = \sum_{i=1}^N \left(RF_i \int_t \Delta T_{s,i} dt \right)$$

- $U_{A,i}$ units consumed by the i^{th} radiator, adimensional;
- RF_i factor for the i^{th} radiator (function of shape, dimension, material of the i^{th} radiator – K_Q – and of the thermal coupling of sensors – K_C), adimensional;
- $T_{s,i}$ surface temperature of i^{th} radiator, K;
- $T_{ind,j}$ indoor environmental temperature in the j^{th} ambient in which the radiator is mounted, K;
- t time, s;
- N number of radiators in the same unit.





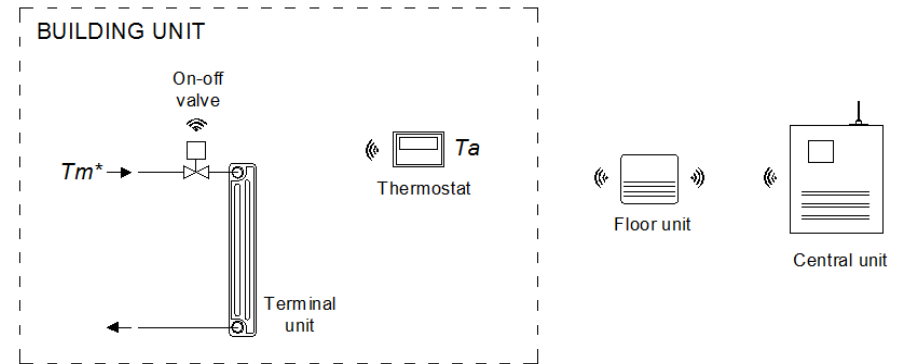
Heat cost allocators

Uncertainty Contribution		Typical error	Relative weighted factor	Relative uncertainty		
				min	max	typical
Temperature difference between the room heating surface and the room, $\Delta T_{s,i}$		1°C	$1/\Delta T_{s,i}$	1.4%	20.0%	2.0%
Accounting interval, t		0.5%	1	0.5%	0.5%	0.5%
Model (K_C)		3-5%	1	3.0%	5.0%	4.0%
Model (K_Q),	Nominal power of the radiator	1-10%	1	1.0%	10.0%	7.5%
	Installation of the radiator	0-12.5%	1	0.0%	12.5%	
	Hydraulic connections of the radiator	0-2.5%	1	0.0%	2.5%	
	Painting of the radiator's surface	0-7.5%	1	0.0%	7.5%	
Model (Linear approximation of HCA heat output)		0-30%	1	0.0%	30.0%	3.0%
Expanded uncertainty				3.5%	40.5%	9.2%

Contabilizzazione indiretta (2)

Insertion time counters – Totalizzatore dei tempi di inserzione (UNI/TR 11388:2010 *in revisione*)

- ❑ Compensati con la temperatura media del fluido termovettore



* It can be measured in eating central source or in each terminal unit

$$Q = \sum_{j=1}^n \phi_{jv} t_j \propto \sum_{k=1}^z \left[\left(\frac{T_{mk} - T_{ak}}{\Delta T_{ap}} \right)^{fe} \phi_{cs} \right] \left[t_k + \tau \left(1 - e^{-\frac{t_{c,k}}{\tau}} \right) \right]$$

Q thermal energy supplied during the whole heating period, kWh;

ϕ_{jv} average thermal power of the heating terminal unit in the j^{th} day, kW;

t_j equivalent operative time in the j^{th} day, h;

T_{mk} average temperature of the heat conveying fluid in the k^{th} opening interval of the valve, °C;

T_{ak} room temperature in the k^{th} opening interval of the valve, °C;

ΔT_{ap} temperature drop at nominal power of the heating terminal unit, °C;

fe distinctive coefficient or the non linearity emitting factor of the heating terminal unit, 1;

ϕ_{cs} nominal thermal power of the heating terminal unit, kW;

t_k k^{th} opening interval of the valve, h;

τ time constant of the heating terminal unit, h;

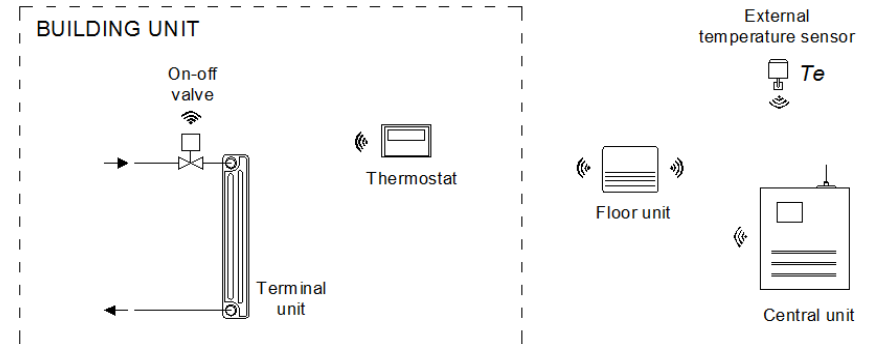
$t_{c,k}$ k^{th} closing time of the valve following t_k , h;

Insertion time counters

Uncertainty Contribution	Typical error	Relative weighted factor	Relative uncertainty		
			min	max	typical
Average temperature of the heating terminal unit, T_{mk}	1-3°C	$\frac{fe}{T_{mk} - T_{ak}}$	1.9%	78.0%	7.8%
Average room temperature, T_{ak}	1°C	$-\frac{fe}{T_{mk} - T_{ak}}$	1.9%	26.0%	2.6%
Accounting interval	0.50%	1	0.5%	0.5%	0.5%
Model Φ_{cs} , Nominal power of the radiator	1%	1	1.0%	10.0%	7.5%
Model Φ_{cs} , Installation of the radiator	13%	1	0.0%	12.5%	
Model Φ_{cs} , Hydraulic connections of the radiator	3%	1	0.0%	2.5%	
Model Φ_{cs} , Painting of the radiator's surface	8%	1	0.0%	7.5%	
Model, time constant of the heating terminal unit	5-15%	1	5.0%	25.0%	7.5%
Expanded uncertainty			5.8%	87.8%	13.4%

Contabilizzazione indiretta (3)

Insertion time counters compensated
with degree days –
Totalizzatore dei tempi di inserzione
compensati con i gradi giorno
(UNI 9019:2013)



$$Q = \sum_{j=1}^n \phi_{jv} t_j \propto \sum_{k=1}^z \left[\frac{T_{ac} - T_{ek}}{T_{ac} - T_{ec}} \phi_{cs} \right] \left[t_k + \tau \left(1 - e^{-\frac{t_{c,k}}{\tau}} \right) \right]$$

Q thermal energy supplied during the whole heating period, kWh;
 ϕ_{jv} average thermal power of the heating terminal unit in the j^{th} day, kW;
 t_j equivalent operative time in the j^{th} day, h;
 T_{ac} conventional room temperature that zeroes heating regulation, °C;
 T_{ek} external average temperature at the k^{th} opening time of the valve, °C;
 T_{ec} external minimum temperature giving 100% of thermal power, °C;
 ϕ_{cs} nominal thermal power of the heating terminal unit, kW;
 t_k k^{th} opening interval of the valve, h;
 τ time constant of the heating terminal unit, h;
 $t_{c,k}$ k^{th} closing time of the valve following t_k , h;

Insertion time counters compensated with degree-days

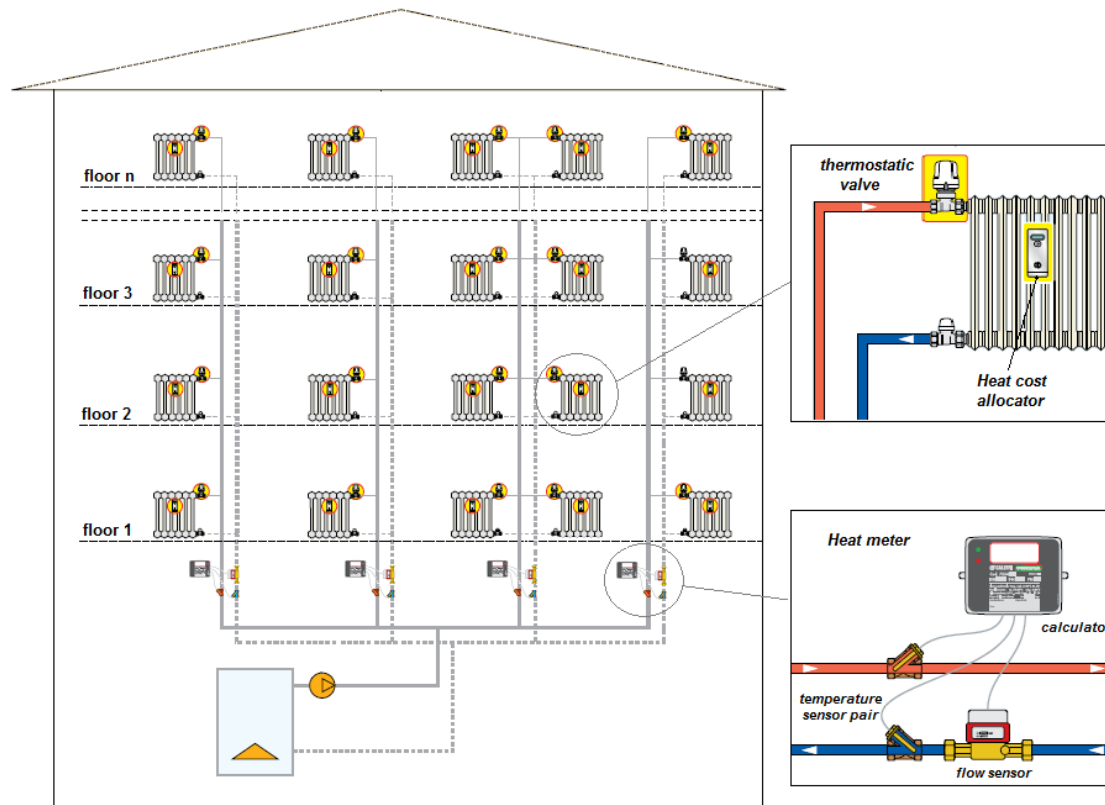
Uncertainty Contribution	Typical error	Relative weighted factor	Relative uncertainty		
			min	max	typical
External actual temperature, T_{ek}	1°C	$-\frac{1}{T_{ac} - T_{ek}}$	2.9%	6.7%	4.0%
Accounting interval, t	0.5%	1	0.5%	0.5%	0.5%
Model (nominal power of the heating terminal unit, Φ_{cs})	10-20%	1	10.0%	20.0%	15.0%
Model (time constant of the heating terminal unit and its difference with the building one)	10-20%	1	10.0%	20.0%	15.0%
Expanded uncertainty			14.4%	29.1%	21.6%

Tabella riepilogativa delle incertezze estese in servizio

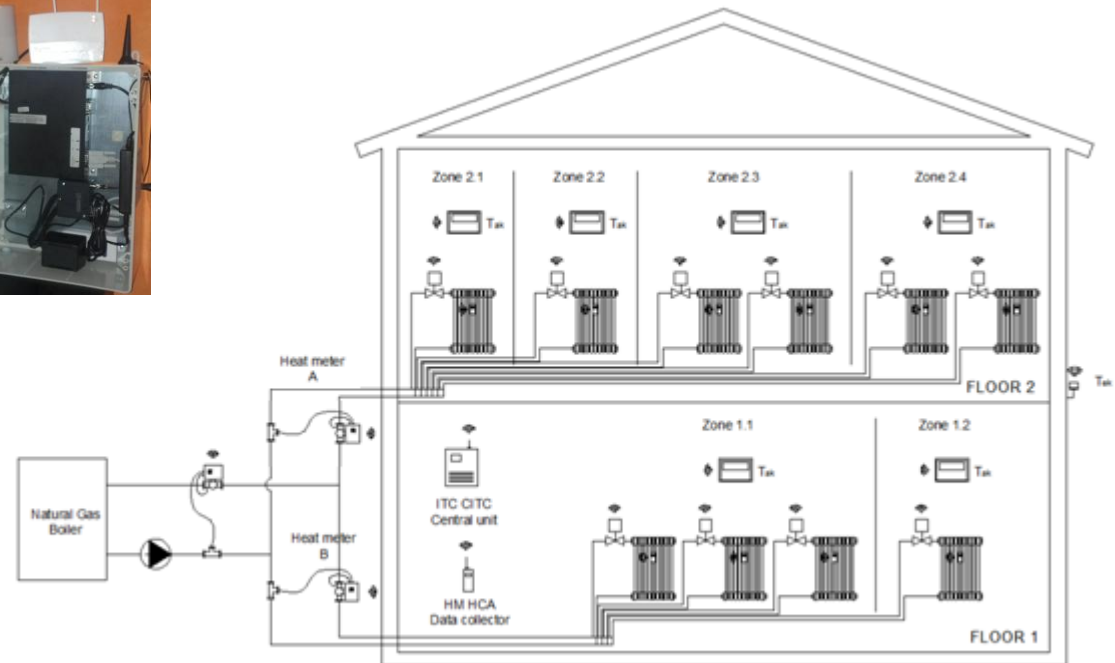
Dispositivo	incertezza estesa tipica	incertezza estesa minima	incertezza estesa massima	Criticità operativa
Direct Heat meters	4.4%	2.9%	8.9%	Montaggio (verticale, orizzontale); Effetti di installazione (curve, valvole, profondità di immersione)
Heat cost allocators	9.2%	3.5%	40.5%	Montaggio (resistenza di contatto); Posizionamento (temperatura media del radiatore); Effetti di inst. (cavità, mensola);
Insertion time counters compensated with the temperature of heat conveying fluid	13.4%	5.8%	87.8%	Temperatura di mandata; Temperatura ambiente; Installazione e posizionamento dei sensori di temperatura; Effetti di inst. (cavità, mensola); Coibentazione linea di mandata;
Insertion time counters compensated with the degree-days	21.6%	14.4%	29.1%	Effetti di inst. (cavità, mensola); Coibentazione linea di mandata. Temperatura esterna (schermatura);

Negli impianti con distribuzione “a colonne montanti” è ipotizzabile una possibile soluzione ibrida che consiste nell’installazione di:

- direct Heat Meters in ingresso di ciascuna colonne montanti;
- sistema indiretto nei diversi ambienti



Risultati di un'analisi sperimentale in campo

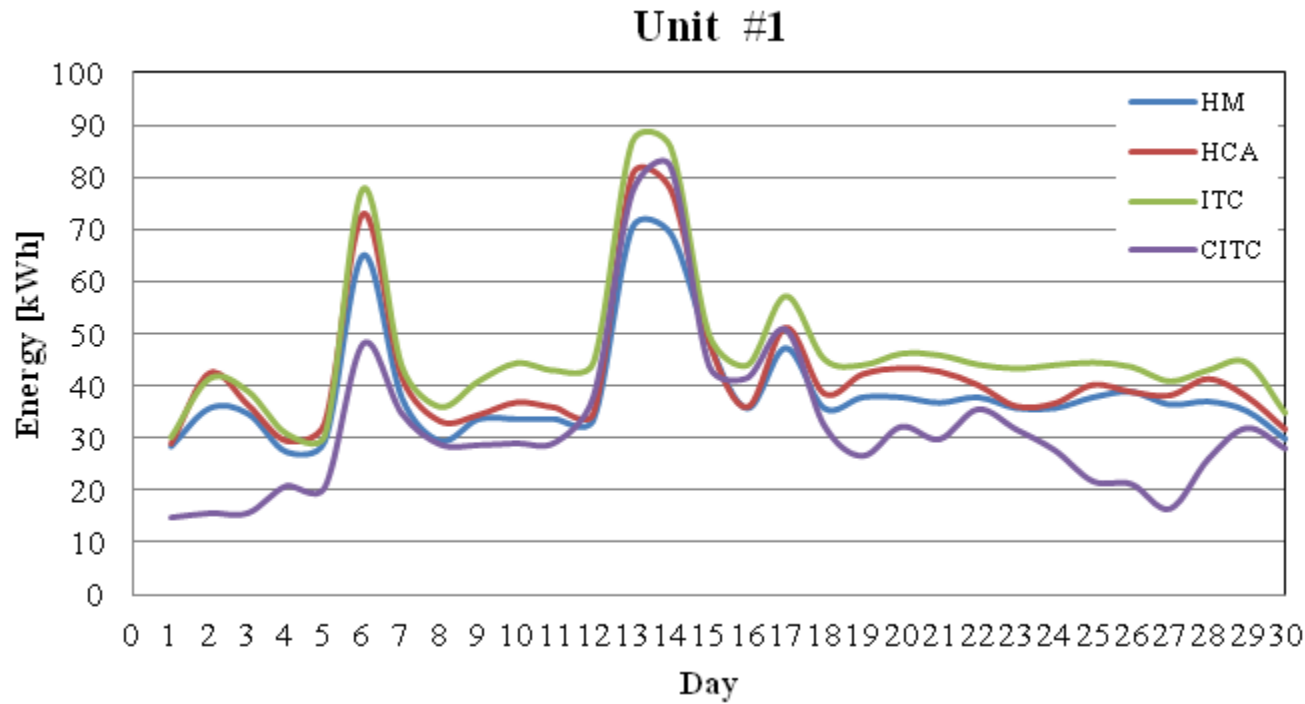




Riepilogo dei risultati

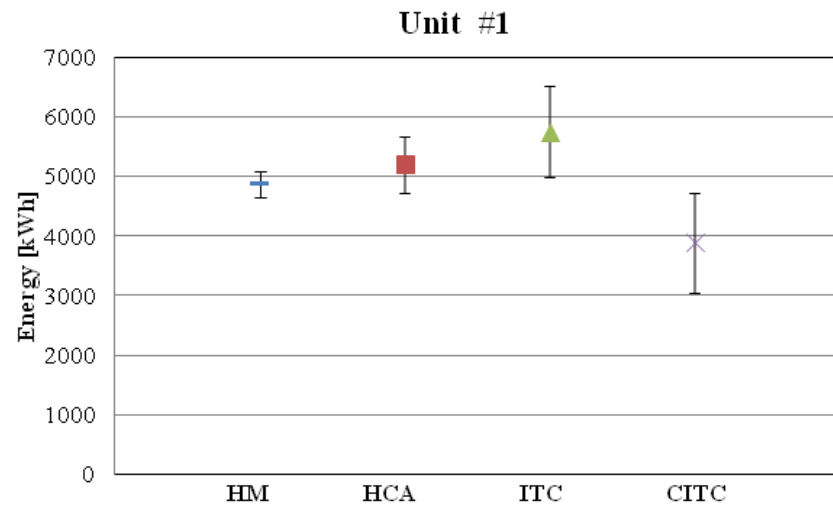
Unit	Zone	HM	HCA	ITC	CITC
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	1.1	-	4046	4898	3316
	1.2	-	1154	854	572
	Subtotal	4872	5199	5752	3887
		-	7%	17%	-17%
2	2.1	-	564	368	292
	2.2	-	-	-	-
	2.3	-	453	264	178
	2.4	-	600	490	329
	Subtotal	1947	1619	1134	804
		-	-17%	-50%	-101%
Overall Total		6819	6819	6886	4691
		-	0%	1%	-31%

Unit	Zone	ITC-HCA	CITC-HCA	CITC-ITC
		[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	1.1	21%	-18%	-32%
	1.2	-26%	-50%	-33%
2	2.1	-35%	-48%	-21%
	2.2	-	-	-
	2.3	-42%	-61%	-33%
	2.4	-18%	-45%	-33%

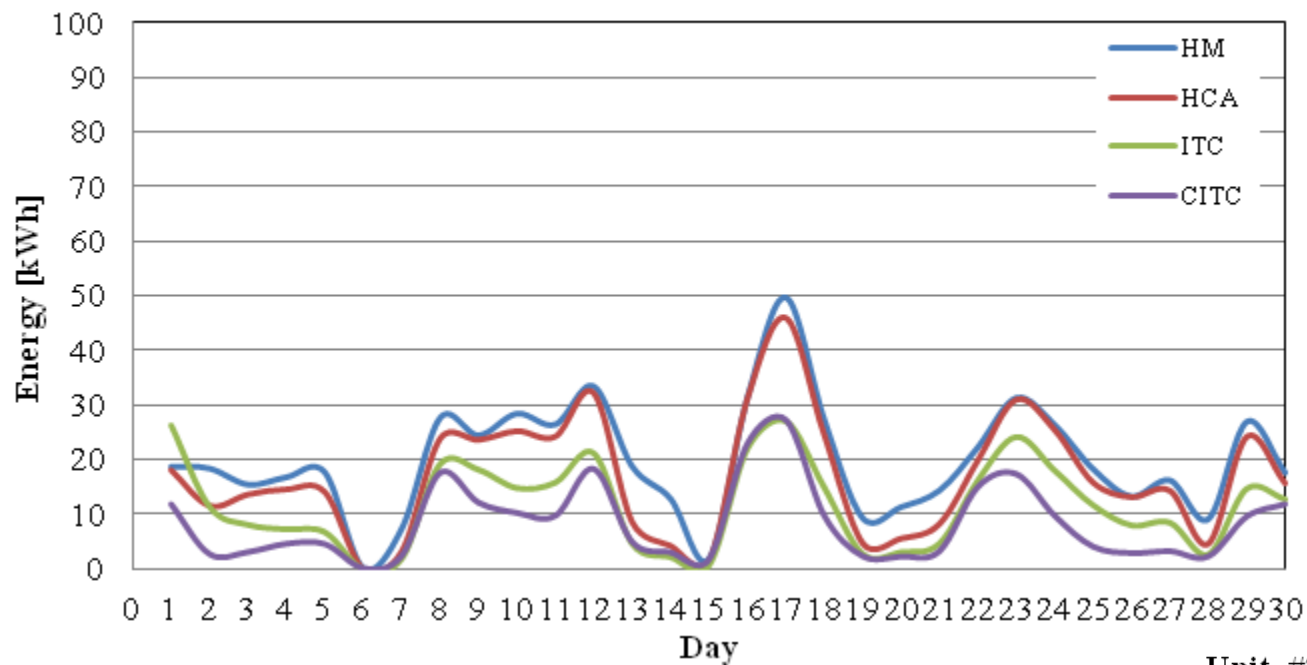


mese tipo

intero periodo

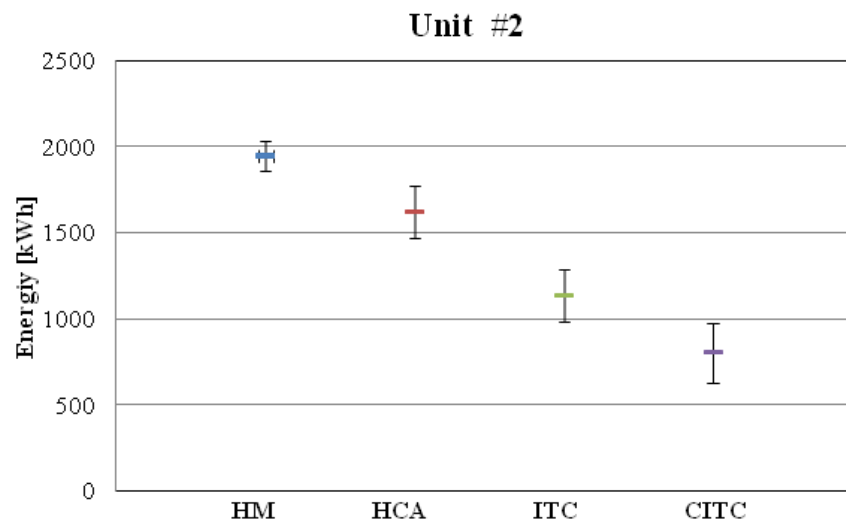


Unit #2

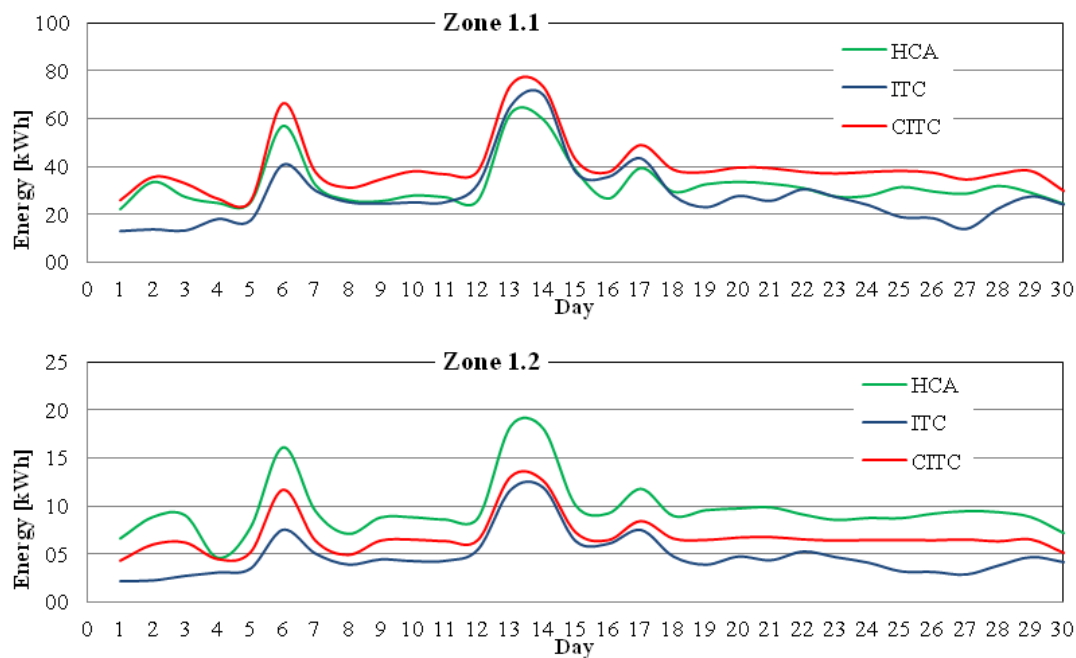


mese tipo

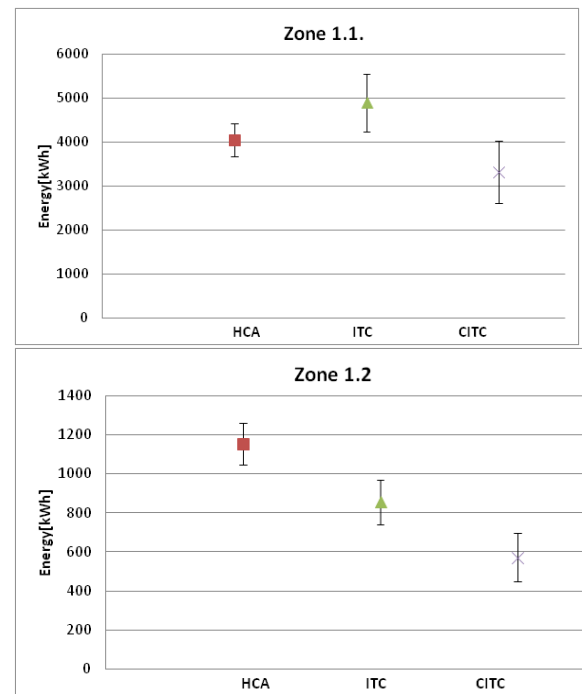
intero periodo



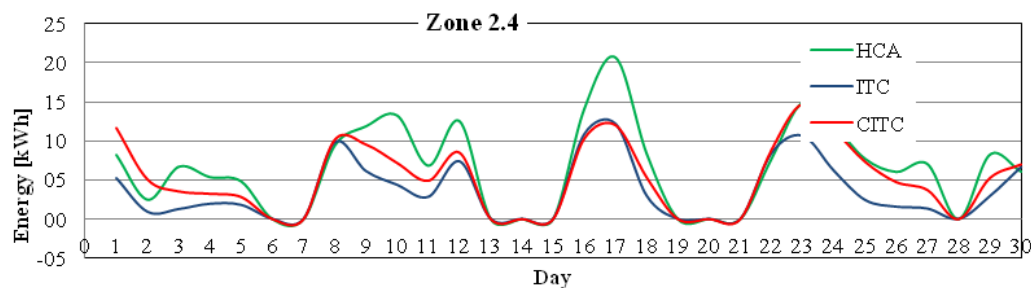
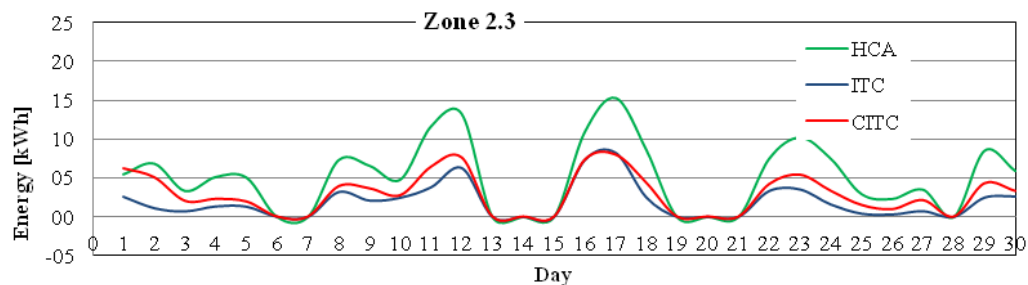
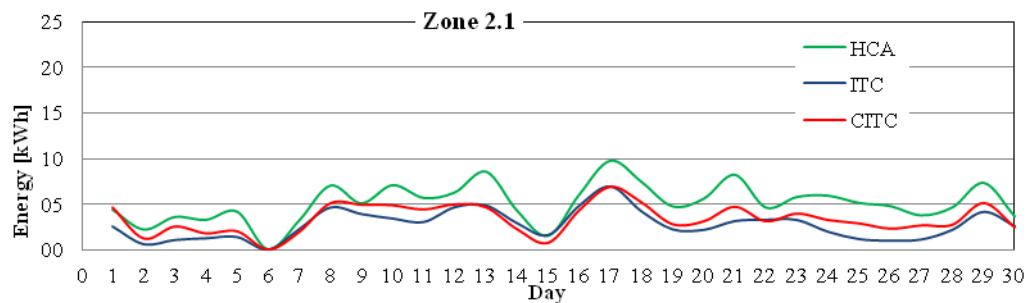
mese tipo



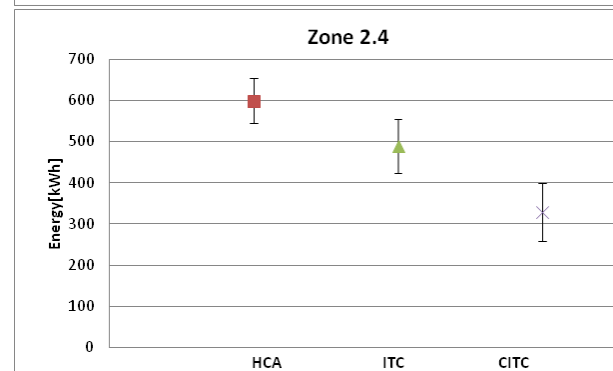
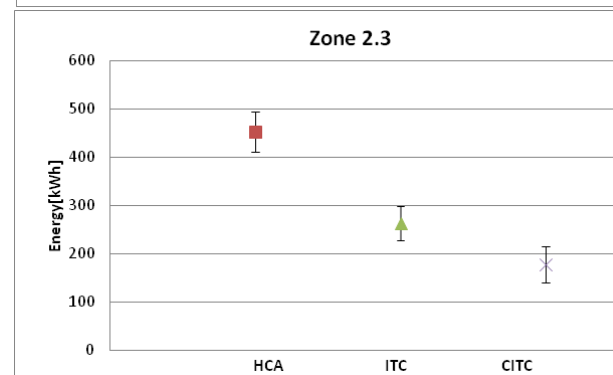
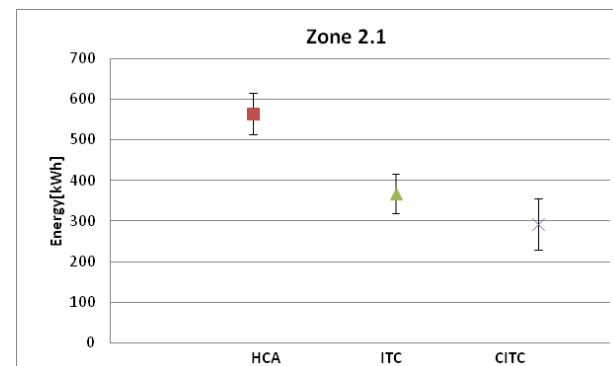
intero periodo



mese tipo



intero periodo



NB: la zona 2.2 ha presentato problemi di comunicazione

Gli effetti di installazione (impianto)

- ✚ Oltre alla corretta stima della potenza termica del radiatore (Φ_{cs}) anche le modalità di installazione del radiatore hanno influenza sulla contabilizzazione:
 - *in nicchia*
 - *sotto mensola*
 - *con copertura (carter)*
 - *presenza di tendaggi/elementi di arredo*

- ✚ Laddove le modalità di installazione fossero sistematicamente applicate in tutte le unità la contabilizzazione non ne risentirebbe



Gli effetti di installazione (dispositivi)

- Gli *heat meters* garantiscono le migliori prestazioni di misura solo in presenza di una corretta installazione e del rispetto delle indicazioni del costruttore (che scaturiscono dai risultati del processo di omologazione MID). I principali effetti di installazione sono: i) fluidodinamici sul contatore volumetrico, ii) profondità di immersione e montaggio (controflusso, inclinato,) del sensore di T, iii) montaggio orizzontale/verticale del contatore volumetrico
- Per ripartitori e totalizzatori i principali effetti di installazione sono relativi alla misura della temperatura (superficiale di contatto, ambiente, mandata) ed all'assenza di coibentazioni in parti dell'impianto (es. tubazioni di mandata)

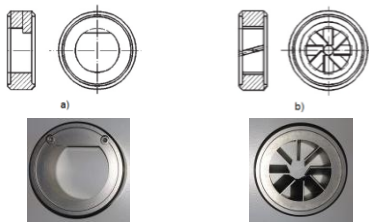
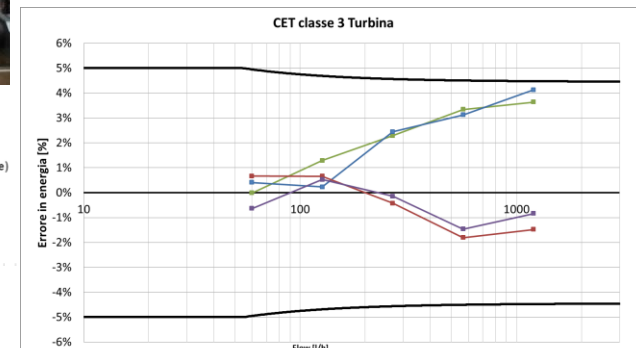
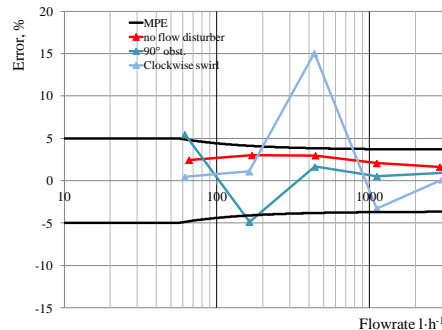
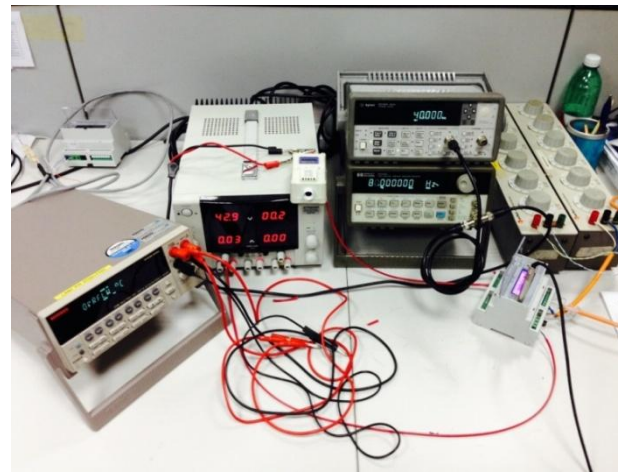
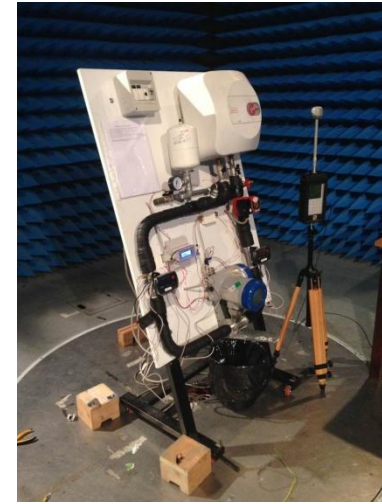


Figure 5 – 90° obstruction (left) and clockwise swirl generator (right) flow disturbances



Conclusioni

- ✚ La contabilizzazione individuale dei consumi di energia termica rappresenta uno strumento efficace per il risparmio energetico;
- ✚ La contabilizzazione diretta (heat meters) può garantire incertezze tipiche di contabilizzazione nell'ordine del 3-5%;
- ✚ La contabilizzazione indiretta può garantire incertezze tipiche di contabilizzazione molto variabili (10-20%) in funzione delle caratteristiche dell'impianto e delle condizioni di installazione;
- ✚ Le modalità di installazione dei radiatori e dei sistemi di contabilizzazione (sui radiatori e sull'impianto) determinano sensibili effetti sulle prestazioni metrologiche;
- ✚ Le modalità di conduzione dell'impianto possono determinare un sensibile decadimento delle prestazioni metrologiche dei sistemi di contabilizzazione (sia diretta che indiretta);
- ✚ I risultati di una prima sperimentazione mostrano che una buona compatibilità tra i dispositivi si ottiene sul consumo totale, mentre sulla parzializzazione in zone i risultati sono significativamente differenti (fino al 50-60% in funzione del dispositivo utilizzato e della zona).



Grazie per l'attenzione