



Ricerca di Sistema elettrico

## Sperimentazione e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura per la contabilizzazione e ripartizione del calore

M. Dell'Isola, P. Vigo, G. Ficco, L. Celenza



SPERIMENTAZIONE E CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DEI SISTEMI DI MISURA PER LA CONTABILIZZAZIONE  
E RIPARTIZIONE DEL CALORE

M. Dell'Isola, P. Vigo, G. Ficco, L. Celenza (Università di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di  
Ingegneria Civile e Meccanica)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

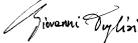
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: Sistemi di metering e controlli innovativi per l'efficienza energetica degli edifici residenziali

Responsabile del Progetto: Ing. Giovanni Puglisi, ENEA 

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione nell'ambito della "Sperimentazione  
e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura per la contabilizzazione e ripartizione del calore"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Biagio Di Pietra 

Responsabile scientifico DICeM: Prof. Ing. Marco Dell'Isola 

## Indice

SOMMARIO.....	6
1 INTRODUZIONE.....	7
2 ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE ED ANALISI DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA RELATIVA ALL'UTILIZZO DI SENSORI ED ATTUATORI DI ENERGIA TERMICA.....	9
2.1. METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE IN UE.....	10
2.2. MODELLO AEEGSI DEGLI EDIFICI IN BASE AL FABBISOGNO ENERGETICO.....	16
2.3 IL SOFTWARE DICEM-ENEA PER L'ANALISI COSTI-BENEFICI.....	20
2.3.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'EDIFICIO.....	23
2.3.2 VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ TECNICA DEL SISTEMA DI CONTABILIZZAZIONE.....	24
2.3.3 STIMA DEI COSTI FISSI (CAPEX) E DI ESERCIZIO (OPEX).....	25
2.4.4 STIMA DEI BENEFICI POTENZIALI OTTENIBILI.....	25
2.4.5 ANALISI DELLA CONVENIENZA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE E RIPARTIZIONE.....	29
3 REALIZZAZIONE E MESSA A PUNTO DI UN SISTEMA SPERIMENTALE PER LA CONTABILIZZAZIONE DEL CALORE IN CAMPO.....	32
3.1 DESCRIZIONE DEI SISTEMI DIRETTI ED INDIRETTI DI CONTABILIZZAZIONE INVESTIGATI.....	32
3.2 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO INVESTIGATO.....	34
3.3 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI MISURA PROTOTIPALE IN CAMPO.....	42
3.4 CONFRONTO TRA I METODI DI RIPARTIZIONE DIRETTI ED INDIRETTI.....	47
3.4 ANALISI DEI CONSUMI E DEI CRITERI DI RIPARTIZIONE DEI COSTI ENERGETICI.....	49
3.5 CRITERI DI RIPARTIZIONE DEI COSTI ENERGETICI ED ANALISI DEI FATTORI CORRETTIVI.....	52
3.6 ANALISI COSTI-BENEFICI.....	53
4 CONCLUSIONI.....	60
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	62
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	64

## Indice delle Tabelle

Tabella 1 – Approccio EMPIRICA .....	11
Tabella 2- Costi capitali e di gestione di contatori individuali e ripartitori in UK.....	14
Tabella 3 – Tipologia costi standard per sistemi diretti (HM) .....	19
Tabella 4 - Costi Standard AEEGSI per i Contatori di Energia Termica HM Individuali.....	19
Tabella 5: Apparat sperimentali investigati.....	33
Tabella 6 - Caratteristiche principali dell’edificio investigato .....	34
Tabella 7: Fattore correttivo per gli effetti di installazione.....	35
Tabella 8: Caratteristiche corpi scaldanti AP_1 .....	36
Tabella 9: Caratteristiche corpi scaldanti AP_2.....	37
Tabella 10: Caratteristiche corpi scaldanti AP_3.....	38
Tabella 11: Caratteristiche corpi scaldanti AP_4.....	39
Tabella 12: Caratteristiche corpi scaldanti AP_5.....	40
Tabella 13: Caratteristiche corpi scaldanti AP_6.....	41
Tabella 14: Letture consumi energetici I Piano (AP_1 e AP_2) .....	47
Tabella 15: Letture consumi energetici II Piano (AP_3 e AP_4) .....	48
Tabella 16: Letture consumi energetici III Piano (AP_5 e AP_6) .....	48
Tabella 17: Consumi intero periodo e settimanali I Piano (AP_1 e AP_2) .....	49
Tabella 18: Consumi intero periodo e settimanali II Piano (AP_3 e AP_4) .....	50
Tabella 19: Consumi intero periodo e settimanali III Piano (AP_5 e AP_6) .....	50
Tabella 20: Analisi degli errori di misura nelle diverse unità immobiliari investigate (scostamenti assoluti) .....	51
Tabella 21: Analisi per piano della ripartizione dei consumi (sistemi omogenei) .....	52
Tabella 22: Analisi della ripartizione dei consumi II e III Piano (sistemi poco omogenei).....	52
Tabella 23: Analisi della ripartizione dei consumi per l’intero edificio (sistemi non omogenei) .....	53

## Indice delle Figure

Figura 1 - Software di calcolo DICEM-ENEA .....	22
Figura 2 - Software di calcolo .....	23
Figura 3 – Analisi della Fattibilità tecnica .....	24
Figura 4 - Stima dei Costi (HM).....	25
Figura 5 - Stima dei Benefici .....	27
Figura 6 – Analisi costi-benefici .....	30
Figura 7 –VAN a 10 anni in funzione di EPH: a) con HM, b) con HCA.....	31
Figura 8: Apparatı sperimentali investigati .....	33
Figura 9 - Edificio investigato.....	34
Figura 10 - Edificio investigato e schema di installazione .....	35
Figura 11: Planimetria AP_1 .....	36
Figura 12: Planimetria AP_2 .....	37
Figura 13: Planimetria AP_3 .....	38
Figura 14: Planimetria AP_4 .....	39
Figura 15: Planimetria AP_5 .....	40
Figura 16: Planimetria AP_6 .....	41
Figura 17: Installazione tipo valvola/detentore e testa termostatica .....	42
Figura 18: Installazione HM investigati .....	43
Figura 19: Tipica Piastra di Installazione HCA investigati (AP_3 e AP_4) .....	44
Figura 20: Installazione ITC-TC investigati (AP_3, AP_4, AP_5 e AP_6).....	44
Figura 21: Schema di installazione e comunicazione I piano (AP_1 e AP_2) .....	45
Figura 22: Schema di installazione e comunicazione II piano (AP_3 e AP_4) .....	46
Figura 23: Schema di installazione e comunicazione III Piano (AP_5 e AP_6).....	46
Figura 24 – Descrizione dell’edificio investigato .....	54
Figura 25 – Scheda di valutazione della fattibilità tecnica dei Sistemi diretti (HM) ed indiretti (HCA).....	55
Figura 26 – Analisi dei costi dei sistemi indiretti (HM).....	56
Figura 27 – Analisi dei costi dei sistemi indiretti (HCA).....	57
Figura 28 – Analisi dei benefici attesi per l’edificio investigato .....	57
Figura 29 – Risultato dell’analisi costi-benefici per sistema diretto (HM) .....	58
Figura 30 – Risultato dell’analisi costi-benefici per sistema indiretto (HCA) .....	59

## Sommario

Il presente rapporto *“Sperimentazione e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura per la contabilizzazione e ripartizione del calore”* descrive le attività di ricerca svolte ed i risultati ottenuti nell’ambito dall’accordo di collaborazione tra ENEA e DICEM (Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica) dell’Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale.

Nello specifico, l’attività oggetto del contratto ha riguardato la valutazione dei costi-benefici dei sistemi di contabilizzazione e la sperimentazione in campo dei sistemi di contabilizzazione dell’energia termica nell’ambito di edifici condominiali o polifunzionali, resa obbligatoria dall’art.9 del DL 102/2014 al 31 Dicembre 2016 e confermata dal successivo DL 141/2016. Nell’ambito del progetto di ricerca è stato inoltre progettato e sviluppato un SW di supporto per gli utenti finali per l’analisi costi-benefici dei sistemi di contabilizzazione.

Le attività di ricerca condotte hanno consentito di evidenziare alcune criticità sia nell’utilizzo dei contatori di energia termica diretti, che dei sistemi di ripartizione indiretti. In particolare, sono state riscontrate diverse problematiche in fase di installazione e programmazione dei sistemi, di comunicazione e trasmissione dei dati di misura e di durata delle batterie. L’analisi sperimentale ha consentito, infine, una valutazione comparativa delle prestazioni metrologiche di tali sistemi in sede di ripartizione dei costi di riscaldamento. In particolare i sistemi indiretti hanno mostrato uno scostamento rispetto ai sistemi diretti (presi come riferimento) variabile tra 2.3% e 4.5% per i ripartitori e tra 1.5% e 2.7% per i totalizzatori dei tempi di inserzione.

## 1 Introduzione

La contabilizzazione accurata e trasparente dell'energia nelle singole unità abitative è certamente un tema centrale nelle politiche nazionali ed europee. Per consentire a tutti i consumatori di energia dell'UE di partecipare pienamente alla transizione energetica, sia gestendo i loro consumi in modo ottimale sia utilizzando soluzioni tecnologiche ad alta efficienza energetica, la Commissione Europea ha recentemente redatto il cosiddetto "New Deal for Energy Consumers" (SWD, 2015). Questa strategia si basa sui seguenti tre pilastri: i) la responsabilizzazione dei consumatori, ii) la realizzazione di smart home e smart grid, iii) la gestione e la protezione dei dati energetici.

Circa il 40 % dell'energia utilizzata in Europa viene consumata negli edifici, di cui circa l'80 % è utilizzato per il solo riscaldamento e raffreddamento. L'introduzione di sistemi di misurazione e fatturazione del consumo individuale degli appartamenti e degli edifici multi-purpose può innescare una sensibile riduzione della domanda di riscaldamento/raffreddamento, che viene generalmente stimata tra il 10 e il 30%. L'esperienza dimostra inoltre che, anche solo grazie a soluzioni basate sull'ICT (e.g. internet), fornendo agli utenti finali informazioni dettagliate sul loro consumo, si aiutano gli inquilini a ridurre il loro consumo di circa l'8% semplicemente cambiando le loro abitudini.

Numerosi sono i risvolti tecnici, legislativi e di tutela del consumatore in tutti gli ambiti come nell'ambito termico. La Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, recepita in Italia con il D.L. 102/14, impone agli Stati membri l'obbligo di installare (se tecnicamente possibile ed efficiente in termini di costi) nei condomini e negli edifici riforniti da una fonte centralizzata di riscaldamento/raffreddamento contatori individuali per misurare il consumo di calore o raffreddamento o di acqua calda sanitaria per ciascuna unità abitativa. Inoltre, nei casi in cui l'uso di contatori individuali non sia tecnicamente possibile o efficiente la stessa Direttiva prevede che, in alternativa, siano impiegati sistemi di contabilizzazione indiretti quali i ripartitori.

Una fatturazione trasparente ed aggiornata aumenta la fiducia e l'impegno dei consumatori al risparmio di energia. Malgrado ciò la stragrande maggioranza dei consumatori riceve queste informazioni al massimo una o due volte l'anno. Per contro tutti i consumatori dovrebbero avere facile accesso ai propri dati di consumo in tempo reale o "quasi" per consentire loro di adattare i consumi e conseguentemente di risparmiare energia. Tali dati potrebbero essere accessibili ai consumatori direttamente dal sistema di misurazione tramite un'interfaccia standard e degli smart meter. Questi ultimi svolgeranno sempre più un ruolo chiave nel fornire libero e frequente accesso ai dati di consumo riducendo naturalmente controversie di misurazione.

In Italia, già ai sensi del Codice Civile e della Legge 10/91, non era più possibile ripartire i consumi energetici secondo criteri millesimali, ma era obbligo tener conto degli effettivi consumi (UNI, 2013). Il D.P.R. 551/99 (art.5) ha reso obbligatoria la contabilizzazione del calore per ogni singola unità immobiliare negli edifici di nuova costruzione e la cui concessione edilizia sia stata rilasciata dopo il 30 giugno 2000. Inoltre il D.P.R. 59/99 fortemente consiglia l'adozione della contabilizzazione del calore nel caso di mera sostituzione di generatore (art.4 comma 6), rendendola poi obbligatoria "ove tecnicamente possibile" in caso di ristrutturazione o installazione dell'impianto termico (art.4 comma 10). Le apparecchiature installate ai sensi del comma 10 del suddetto D.P.R. devono assicurare un errore di misura, nelle condizioni di utilizzo, inferiore al 5%. Errori massimi ammissibili questi ultimi che risultano attualmente compatibili e verificabili nelle condizioni di utilizzo solo con l'adozione di sistemi di contabilizzazione diretta (i cosiddetti CET), a loro volta regolamentati nell'allegato MI-004 della Direttiva 2004/22/CE MID sugli strumenti di misura e nel DM 155/2013. L'Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas ed il Sistema Idrico (AEEGSI) con il documento per la consultazione DCO 252/2016/R/TLR ha inoltre avviato il processo di attuazione dei compiti di regolazione e controllo nel settore del teleriscaldamento e del teleraffrescamento conferiti

all'Autorità dal decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102. Tra questi compiti rientrano quelli in materia di misura e contabilizzazione individuale dei consumi, fatturazione, accesso dei consumatori finali alle informazioni sulla fatturazione e ai propri dati di consumo, anche storici.

L'obiettivo della presente ricerca, condotta dall'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale per conto dell'ENEA, è quello di affrontare la problematica relativa alla misura e contabilizzazione dell'energia termica per ciascuna unità immobiliare nell'ambito di edifici condominiali o polifunzionali, resa obbligatoria dall'art.9 del DL 102/2014 al 31 Dicembre 2016. Dalle attività svolte nei precedenti anni sull'argomento emerge che l'offerta di mercato di sistemi di contabilizzazione dell'energia termica risulta molto ampia e varia tuttavia la conoscenza delle modalità di installazione ed utilizzo dei vari sistemi da parte di progettisti, installatori e gestori risulta spesso carente. Ciò, spesso riduce o vanifica le potenzialità che detti sistemi hanno in termini di risparmio energetico negli edifici dotati di impianti di riscaldamento centralizzati.

Il presente rapporto di ricerca descrive pertanto le attività effettuate in relazione all'analisi metrologica in campo dei sistemi di misura e ripartizione dell'energia termica (diretti ed indiretti) ed all'analisi dei costi e dei benefici connessi all'utilizzo di tali sistemi.

## 2 Analisi dello stato dell'arte ed analisi di fattibilità tecnico economica relativa all'utilizzo di sensori ed attuatori di energia termica

Il D.Lgs 141 [1], che ha recentemente modificato il D.Lgs. 102 [2], all'art.9 (Misurazione e fatturazione dei consumi energetici) comma 1, prevede la "definizione di criteri concernenti la fattibilità tecnica ed economica, anche in relazione ai risparmi energetici potenziali" per gli esercenti l'attività di misura che forniscono ai clienti finali teleriscaldamento, teleraffreddamento ed acqua calda per uso domestico "contatori individuali che riflettono con precisione il consumo effettivo e che forniscono informazioni sul tempo effettivo di utilizzo dell'energia".In particolare all'art. 9 comma 5 si precisa che "per favorire il contenimento dei consumi energetici attraverso la contabilizzazione dei consumi di ciascuna unità immobiliare e la suddivisione delle spese in base ai consumi effettivi delle medesime:

- a) qualora il riscaldamento, il raffreddamento o la fornitura di acqua calda ad un edificio o a un condominio siano effettuati tramite allacciamento ad una rete di teleriscaldamento o di teleraffreddamento, o tramite una fonte di riscaldamento o raffreddamento centralizzata, è obbligatoria, entro il 31 dicembre 2016, l'installazione, a cura degli esercenti l'attività di misura, di un contatore di fornitura in corrispondenza dello scambiatore di calore di collegamento alla rete o del punto di fornitura dell'edificio o del condominio;
- b) nei condomini e negli edifici polifunzionali riforniti da una fonte di riscaldamento o raffreddamento centralizzata o da una rete di teleriscaldamento o da un sistema di fornitura centralizzato che alimenta una pluralità di edifici, è obbligatoria l'installazione entro il 31 dicembre 2016, a cura del proprietario, di sotto-contatori per misurare l'effettivo consumo di calore o di raffreddamento o di acqua calda per ciascuna unità immobiliare, nella misura in cui sia tecnicamente possibile, efficiente in termini di costi e proporzionato rispetto ai risparmi energetici potenziali. L'efficienza in termini di costi può essere valutata con riferimento alla metodologia indicata nella norma UNI EN 15459. Eventuali casi di impossibilità tecnica alla installazione dei suddetti sistemi di contabilizzazione o di inefficienza in termini di costi e sproporzione rispetto ai risparmi energetici potenziali, devono essere riportati in apposita relazione tecnica del progettista o del tecnico abilitato;
- c) nei casi in cui l'uso di sotto-contatori non sia tecnicamente possibile o non sia efficiente in termini di costi e proporzionato rispetto ai risparmi energetici potenziali, per la misura del riscaldamento si ricorre, a cura dei medesimi soggetti di cui alla lettera b), all'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore individuali per quantificare il consumo di calore in corrispondenza a ciascun corpo scaldante posto all'interno delle unità immobiliari dei condomini o degli edifici polifunzionali, secondo quanto previsto norme tecniche vigenti, salvo che l'installazione di tali sistemi risulti essere non efficiente in termini di costi con riferimento alla metodologia indicata nella norma UNI EN 15459;
- d) quando i condomini o gli edifici polifunzionali sono alimentati da teleriscaldamento o teleraffreddamento o da sistemi comuni di riscaldamento o raffreddamento, per la corretta suddivisione delle spese connesse al consumo di calore per il riscaldamento, il raffreddamento delle unità immobiliari e delle aree comuni, nonché per l'uso di acqua calda per il fabbisogno domestico, se prodotta in modo centralizzato, l'importo complessivo è suddiviso tra gli utenti finali, in base alla norma tecnica UNI 10200 e successive modifiche e aggiornamenti. Ove tale norma non sia applicabile o laddove siano comprovate, tramite apposita relazione tecnica asseverata, differenze di fabbisogno termico per metro quadro tra le unità immobiliari costituenti il condominio o l'edificio polifunzionale superiori al 50 per cento, è possibile suddividere l'importo complessivo tra gli utenti finali attribuendo una quota di almeno il 70 per cento agli effettivi prelievi volontari di energia

*termica. In tal caso gli importi rimanenti possono essere ripartiti, a titolo esemplificativo e non esaustivo, secondo i millesimi, i metri quadri o i metri cubi utili, oppure secondo le potenze installate. È fatta salva la possibilità, per la prima stagione termica successiva all'installazione dei dispositivi di cui al presente comma, che la suddivisione si determini in base ai soli millesimi di proprietà. Le disposizioni di cui alla presente lettera sono facoltative nei condomini o gli edifici polifunzionali ove alla data di entrata in vigore del presente decreto si sia già provveduto all'installazione dei dispositivi di cui al presente comma e si sia già provveduto alla relativa suddivisione delle spese.*

Il D.Lgs. 102 [2] rimanda inoltre alla norma UNI 10200 per la suddivisione dei costi dell'energia termica utile prodotta. Questa prevede due componenti: la parte variabile e quella fissa. La norma inoltre richiede un calcolo annuale in modo da poter monitorare nel tempo l'impianto attraverso una procedura di ripartizione della spesa totale di riscaldamento e acqua calda sanitaria che richiede le seguenti fasi: i) la determinazione della spesa energetica totale; ii) la determinazione dell'energia utile prodotta; iii) il calcolo del costo unitario dell'energia utile (per questa ragione è consigliata l'installazione di un contatore di calore per i consumi di energia per riscaldamento e un contatore volumetrico per i consumi di acqua calda sanitaria); iv) la ripartizione dell'energia utile totale fra consumi volontari e involontari; v) la ripartizione dell'energia utile volontaria (sulla base alle letture delle apparecchiature di misura e ripartizione); vi) la ripartizione dell'energia utile involontaria (sulla base ai millesimi di riscaldamento).

## **2.1. Metodologie di Valutazione della Fattibilità Economica dei Sistemi di Contabilizzazione in UE**

Come noto, le Autorità nazionali degli Stati Membri hanno adottato approcci talvolta diversi nel recepimento della Direttiva EED[3]. In particolare, con riferimento all'obbligo di installare contatori individuali di consumo per il riscaldamento degli edifici esistenti, si possono osservare tre diversi approcci: i) è previsto l'obbligo per quasi tutti gli edifici (esistenti e di nuova costruzione), salvo alcune puntuali eccezioni; ii) è prevista sempre una verifica tecnico-economica; iii) l'obbligo è molto limitato perché nella maggior parte dei casi i sistemi di ripartizione sono ritenuti economicamente poco efficienti. A titolo di esempio:

- ✓ in Germania l'obbligo è esteso alla quasi totalità degli edifici esistenti,
- ✓ in Svezia l'esenzione dall'installazione sembra essere invece pressoché totale;
- ✓ in Francia l'obbligo/esenzione è definito in relazione all'età di costruzione ed alle prestazioni energetiche dell'edificio;
- ✓ in UK l'approccio adottato è quello di richiedere sempre una valutazione preventiva della fattibilità tecnica/economica attraverso un tool informatico appositamente sviluppato.

Relativamente ai benefici attesi conseguenti all'installazione di sistemi di contabilizzazione individuale in termini di risparmio energetico, la nota interpretativa della EED[4] suggerisce che questi possono arrivare fino anche al 30%. A tale riguardo il documento cita come riferimento due studi, uno svedese [5] ed uno tedesco [6].

La Commissione Europea (DG ENER) ha commissionato alla società EMPIRICA uno studio finalizzato allo sviluppo di una Guida per fornire supporto alle Autorità degli Stati Membri e ai proprietari di immobili per l'attuazione degli articoli 9-11 della direttiva 2012/27/UE (EED) in merito al consumo di energia termica per il riscaldamento, raffreddamento e acqua calda sanitaria. La Guida prodotta nell'ambito del suddetto studio [7] suggerisce alcune azioni potenzialmente implementabili dalle Autorità Nazionali degli Stati

Membri relativamente alla misurazione individuale ed alla fatturazione informativa dei consumi di energia termica al fine di massimizzare i risparmi energetici. Le suddette azioni, raggruppate per tipologia, sono riportate in Tabella 1.

**Tabella 1 – Approccio EMPIRICA**

<p>Classificazione dell'edificio (building class, BC);</p>	<p>In relazione all'applicabilità dei requisiti degli art. 9-11 della EED ed in particolare per l'installazione dei sistemi di misura individuale di calore/freddo/acqua calda sanitaria, la Guida introduce tre classi di edificio, in relazione alla tipologia e destinazione d'uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– edifici obbligati (“<i>viable building class</i>”), quando è probabile che solo pochi edifici della tipologia potranno essere valutati negativamente in fase di verifica della fattibilità tecnica ed economica;</li> <li>– edifici esenti (“<i>exempted building class</i>”) quando si ha la ragionevole evidenza che nessuno degli edifici della tipologia potrà essere valutato positivamente in fase di verifica della fattibilità tecnica ed economica;</li> <li>– edifici da valutare (“<i>open building class</i>”), ovvero quegli edifici che non ricadono nelle precedenti due classi e per i quali dovrà essere effettuata una verifica puntuale della fattibilità tecnica ed economica.</li> </ul> <p>Tra gli edifici esenti la Guida propone di considerare alcune tipologie quali : i) i cosiddetti “zero energy buildings” o edifici con fabbisogno termico effettivo molto ridotto; ii) gli edifici con particolari destinazione d’uso quali residenze sanitarie per anziani o residenze per studenti; iii) gli edifici nei quali gli utilizzatori non pagano separatamente per l’uso dell’energia, quali ad esempio hotel ed ospedali; iv) gli edifici parzialmente occupati dal proprietario.</p> <p>La classe di "edifici da valutare", in particolare, dovrebbe essere limitata o non prevista dalle Autorità nazionali, che dovrebbero però consentire ai soggetti obbligati, nel caso, di proporre ricorso contro l'inclusione nella classe di "edifici obbligati". Per gli "edifici da valutare", qualora l'esito della valutazione tecnica ed economica sia positivo sia utilizzando i Ripartitori di Calore (HCA) che i Contatori di Energia Termica (HM), l’Autorità nazionale dovrebbe privilegiare l'utilizzo di questi ultimi.</p> <p>Il confine tra "edifici obbligati" ed "edifici esenti" dovrebbe inoltre essere netto, ovvero per essi il soggetto obbligato/proprietario/conducente o altra tipologia di utente finale deve essere in grado di determinare facilmente ed in maniera efficace l'appartenenza ad una classe o all'altra. La Guida, infine, suggerisce di ripetere la verifica di edifici tipo della classe "esente" ad intervalli regolari per verificare la sussistenza della non applicabilità dei requisiti, così come per gli edifici della classe "da valutare" (per questi ultimi la verifica andrebbe ripetuta anche dopo modifiche/ristrutturazioni sostanziali).</p>
<p>Verifica dell'edificio (building assessment, BA);</p>	<p>La Guida descrive alcuni casi in cui non sussistono i presupposti per la fattibilità tecnica (o, meglio, quando sono necessari interventi troppo invasivi dal punto di vista tecnico per essere economicamente vantaggiosi) dei sistemi di contabilizzazione individuale. Questi casi sono: i) dove sono necessari lavori di adeguamento (minori o maggiori) dell'edificio; ii) dove è necessaria la sostituzione/adeguamento dell'impianto termico o del sistema di distribuzione; iii) dove sono presenti impianti termici il cui fluido termovettore è aria calda o vapore; iv) negli altri casi in cui HM e HCA non forniscono una misura affidabile dei consumi (e.g. riscaldamento a soffitto/pavimento/pareti). Esistono inoltre categorie di edifici per i quali la mancanza di un controllo effettivo di temperatura e ventilazione impedisce di fatto l'applicabilità dei sistemi di contabilizzazione individuale. Si tratta in particolare di: i) hotel, ii) residenze per anziani, iii) residenze per studenti, iv) edifici in cui gli scambiatori riscaldano più di un appartamento contemporaneamente (e.g. pannelli radianti nel soffitto).</p> <p>Ai fini della verifica degli "edifici da valutare" viene proposto il calcolo del valore attuale netto dell'investimento, ovvero la contabilizzazione individuale è obbligatoria qualora il valore attuale netto dei costi di investimento una-tantum ed annuali di gestione (<math>VAN_C</math>) sia minore o uguale al valore attuale netto dei benefici attesi (<math>VAN_B</math>), considerando un tempo di ammortamento minimo di 10 anni ed un tasso di sconto del 4%: <math>VAN_C \leq VAN_B</math>.</p> <p>Relativamente alla stima dei benefici attuali per riscaldamento/raffreddamento (<math>AB_{h,c}</math>) dovrà considerarsi il risparmio nell'acquisto di energia. La Guida propone la formula seguente:</p> $AB_{h,c} = FP(FT) \frac{AV + AT}{SE}$ <p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>FP(FT)</math> è il costo di acquisto (€) dell’energia (gas, calore);</li> <li>– <math>SE</math> (%) è il rendimento dell'impianto di riscaldamento/raffreddamento;</li> <li>– <math>AV</math> (<math>kWh \text{ anno}^{-1}</math>) è il risparmio energetico per ventilazione calcolato attraverso l'equazione: <math>AV = VE \cdot 24 \cdot GG \cdot AC</math> in cui: i) <math>VE</math> (<math>h^{-1}</math>) è il risparmio di ventilazione associato alla misura; ii) <math>GG</math> (K) è il</li> </ul>

	<p>numero di gradi giorno del comune in cui è localizzato l'edificio; iii) AC (kWh m<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>) è il calore specifico dell'aria;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- AT (kWh anno<sup>-1</sup>) è il risparmio associato alla riduzione della temperatura interna calcolato attraverso l'equazione:  <math display="block">AT = TE \cdot TL \cdot PD</math>                     in cui: i) TE (K) è l'effetto in termini di riduzione della temperatura associato alla misura; ii) TL (kWh K<sup>-1</sup> giorno<sup>-1</sup>) è la dispersione termica giornaliera dell'edificio; iii) PD (giorni) è il numero di giorni attesi di funzionamento dell'impianto di riscaldamento/raffreddamento nella zona in cui è localizzato l'edificio. <p>Per quanto attiene invece la stima dei benefici attuali per acqua calda sanitaria (AB<sub>ACS</sub>) dovrà considerarsi anche il risparmio nell'acquisto di acqua. La Guida propone la formula seguente:</p> <math display="block">AB_{ACS} = FP(FT) \cdot HC \cdot \frac{UE_1 + NU \cdot UE_2}{SE} + WP(UE_1 + NU \cdot UE_2)</math>                     dove:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- FP(FT) è il costo di acquisto (€) del vettore energetico in uso (gas, calore);</li> <li>- SE (%) è il rendimento dell'impianto di riscaldamento/raffreddamento;</li> <li>- NU è il numero di utenti serviti dall'impianto di ACS nell'edificio;</li> <li>- HC è la quantità di energia termica (kWh m<sup>-3</sup>) fornita per riscaldare/acqua calda sanitaria (posta a 52°C) a partire dalla temperatura media annuale dell'acqua fredda;</li> <li>- UE<sub>1</sub>, UE<sub>2</sub> è il risparmio atteso (m<sup>3</sup> anno<sup>-1</sup>) per appartamento e per persona, rispettivamente;</li> <li>- WP (€ m<sup>-3</sup>) è il costo di acquisto dell'acqua fredda.</li> </ul> <p>Il calcolo sopra descritto implica l'inserimento di alcuni dati che possono essere forniti in maniera univoca (e.g. tariffe dei vettori energetici, numero di GG, giorni di attivazione) ed altri invece relativi all'edificio in questione (e.g. rendimento, dispersioni termiche) ed alla sua localizzazione geografica. I dati il cui inserimento è di stretta competenza del soggetto obbligato che effettua la verifica dovrebbero essere ridotti al minimo ed essere disponibili nei documenti della certificazione energetica dell'edificio.</p> <p>In ultimo la Guida suggerisce che i valori di risparmio per ventilazione, riduzione della temperatura e utilizzo di ACS siano supportati da adeguata evidenza e di tenere conto in maniera opportuna le caratteristiche dell'edificio in esame.</p> </li></ul>
<p>Efficienza economica (cost efficiency, CE);</p>	<p>La Guida auspica che le Autorità nazionali degli Stati Membri promuovano indagini finalizzate alla acquisizione dei costi competitivi attraverso analisi di mercato tra i diversi fornitori di strumenti e servizi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- che comprendano la stima dei costi competitivi relativi alla implementazione della misura EED;</li> <li>- che non prevedano costi aggiuntivi/nascosti e che dettagliano adeguatamente i prodotti/servizi;</li> <li>- che prevedano unicamente costi una-tantum ed annuali;</li> <li>- che prevedano costi invariabili per un minimo di 10 anni;</li> </ul> <p>I soggetti obbligati dovrebbero essere quindi supportati nell'identificare i fornitori di prodotti/servizi più competitivi ad esempio mettendo a disposizione dei soggetti obbligati i dati per la verifica degli edifici. D'altra parte, i soggetti obbligati dovrebbero: i) orientarsi verso le soluzioni che prevedano un maggiore risparmio energetico; ii) diffondere prontamente i risultati della valutazione dell'edificio agli utenti finali; iii) fissare una ragionevole data di attuazione delle misure previste.</p> <p>I costi ammessi sono, per i Capex, l'acquisto ed installazione del contatore di calore (per ciascun appartamento) o del ripartitore di calore (per ciascun corpo scaldante) per il riscaldamento/raffrescamento e del contatore volumetrico per la ripartizione dei costi di acqua calda sanitaria. Per gli Opex viene invece ammessa la fatturazione informativa e la ripartizione dei costi.</p>
<p>Azioni sull'edificio (building measure, BM);</p>	<p>La Guida suggerisce che le possibili azioni sull'edificio siano dettagliate dalla combinazione dei tre tipi di uso dell'energia (i.e. riscaldamento, raffreddamento ed acqua calda sanitaria) e dei due tipi di servizio (i.e. ripartizione dei costi sulla base dei consumi individuali effettivi e fatturazione informativa).</p> <p>In particolare, il servizio di ripartizione dei costi sulla base dei consumi individuali effettivi, dovrebbe basarsi sui dati acquisiti (almeno) una volta all'anno per l'acqua calda e per il consumo di energia (fornito dal contatore di energia termica/ripartitori di calore). La frequenza della fatturazione (e.g. mensile, bimestrale, trimestrale, ...) e la disponibilità di sistemi di informazione diretta (e.g. in home display, web) potrebbe inoltre aumentare la propensione al risparmio energetico. Al ricevimento della somma da ripartire, sono applicate le regole di allocazione</p>

	<p>impostate fornendo le informazioni necessarie ad ogni cliente finale insieme alla fattura. Dovrebbe essere inoltre assicurata adeguata accuratezza della ripartizione attraverso l'utilizzo di dispositivi di misura conformi alle pertinenti norme tecniche.</p> <p>Il servizio di fatturazione informativa, invece, fornisce ai clienti finali le informazioni utili per comprendere l'impatto economico dell'uso dei sistemi di ventilazione, della regolazione delle valvole termostatiche e del prelievo di acqua calda (performance di risparmio energetico) quando è operativo un servizio di ripartizione.</p>
Evidenza (evidence base, EB);	<p>La Guida fa riferimento a studi in letteratura relativi a tipiche installazioni in vecchi edifici dell'Europa Centrale (principalmente Germania) che indicano un risparmio energetico potenziale per l'installazione di sistemi di ripartizione basati sui consumi effettivi individuali pari al 20% e un ulteriore 3% di risparmio ottenuto attraverso la fatturazione informativa (<i>frequent billing</i>).</p> <p>Relativamente ai risparmi energetici basati su evidenza documentata, la Guida indica i seguenti valori:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– effetto di riduzione della temperatura (TE) pari a 1.1 K[8];</li> <li>– effetto di riduzione della ventilazione (VE) pari a 0.25 h<sup>-1</sup>[8];</li> <li>– effetto di riduzione dei consumi di acqua calda sanitaria [9](UE<sub>1</sub>) di 3.4 m<sup>3</sup>anno<sup>-1</sup> per appartamento e di ulteriori 1.9 m<sup>3</sup> anno<sup>-1</sup> per persona (UE<sub>2</sub>);</li> <li>– un ulteriore riduzione per l'introduzione della fatturazione informativa pari a: i) (TE) 1.1 <math>\frac{3\%}{20\%}</math> K per la temperatura; ii) (VE) 0.25 <math>\frac{3\%}{20\%}</math> h<sup>-1</sup> per la ventilazione; iii) (UE<sub>1</sub>) 1.7 m<sup>3</sup>anno<sup>-1</sup> per appartamento e (UE<sub>2</sub>) 0.9 m<sup>3</sup> anno<sup>-1</sup> per persona per i consumi di acqua calda sanitaria.</li> </ul>
Supporto e controllo (support and monitoring, SM);	<p>La Guida suggerisce di <u>mettere a disposizione dei soggetti obbligati un supporto informatico con i costi di riferimento competitivi</u>. I soggetti obbligati dovrebbero infatti mettere a conoscenza dell'Autorità i dati di input utilizzati per la valutazione della fattibilità tecnica ed economica in sede di valutazione dell'edificio e dovrebbero di conseguenza sottoscrivere una dichiarazione relativamente all'accuratezza dei suddetti dati, da mettere successivamente a disposizione degli utenti finali (proprietari/conduttori).</p>
Criteri di ripartizione (allocation rules, AR)	<p>La Guida non esclude l'introduzione di fattori correttivi nei criteri di ripartizione, infatti ai sensi dell'art. 9.3 della EED, gli Stati Membri possono introdurre regole trasparenti per assicurare una reale correttezza ed accuratezza della ripartizione dei consumi. A tal fine la Guida suggerisce come esempio due approcci utilizzati in Germania ed in Danimarca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– di considerare una quota di <u>consumi involontari</u> da ripartire su base millesimale (e.g. in Germania tra 30% e 50%) e i <u>costi variabili</u> in funzione dei consumi effettivi, e che questi siano alla base della ripartizione di almeno il 50% del totale (e.g. in Germania tra 50% e 70%).</li> <li>– di consentire l'applicazione di <u>fattori correttivi</u> per il posizionamento/orientamento del singolo appartamento nell'edificio (anche solo per il primo anno di applicazione delle nuove regole di ripartizione) in modo che gli utilizzatori degli appartamenti più sfavoriti, piuttosto che un risparmio energetico debbano affrontare un significativo incremento dei costi (e.g. in Danimarca).</li> </ul>

Particolarmente interessante ai fini della valutazione dell'efficienza economica dei sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi di riscaldamento/raffreddamento ed acqua calda sanitaria è l'approccio assunto in UK, anche se lo stesso risulta oggi in fase di profonda revisione.

Questo approccio è ben descritto nel regolamento nazionale [10] e nel documento BRE 2012 [11]. L'analisi dei costi prevede un costo capitale nel primo anno che viene successivamente compensato dal risparmio netto nel tempo di vita del sistema (assunto pari a 10 anni). La valutazione dell'impatto presuppone un tasso di interesse pari al 9% [12]. Di conseguenza un sistema è conveniente dal punto di vista economico solo se i benefici attesi attualizzati sono superiori ai costi di capitale e di installazione iniziale, nonché ai costi di gestione. L'analisi di mercato per l'acquisizione dei dati relativi ai costi in UK ha avuto i risultati riportati in Tabella 2 [13].

**Tabella 2- Costi capitali e di gestione di contatori individuali e ripartitori in UK**

<i>Costi</i>	<i>Sterline</i>	<i>Euro</i>
Contatore HM individuale	£ 212.00	€ 273.30
Installazione Contatore HM individuale	£ 80.00	€ 103.13
HCA inclusa installazione e sistema raccolta dati (per radiatore)	£ 45.00	€ 58.01
Valvola termostatica inclusa installazione (per radiatore)	£ 50.00	€ 64.46
Contatore ACS (inclusa installazione)	£ 150.00	€ 193.37
Sistema Centralizzato raccolta dati	£ 62.00	€ 79.93
Installazione Sistema raccolta dati	£ 3.00	€ 119.89
Costo di gestione (per APP/anno)	£ 35.00	€ 45.12

Vita utile del contatore individuale, 10 anni

Cambio €/£=0.7757

Relativamente al contatore di energia termica di fornitura (i.e. per l'intero edificio alla stazione di scambio termico con la rete di teleriscaldamento), l'analisi UK presenta un costo medio di 2.000 £ (pari a 2.578 € circa). Relativamente ai sistemi con ripartitori, viene considerato un numero medio di radiatori per appartamento pari a: i) 6 radiatori per appartamento, ii) 7 radiatori per casa a schiera e semi-indipendente; iii) 8 radiatori per casa indipendente.

Uno studio del BRE (Building Research Establishment) [11] indica un valore minimo di risparmio atteso del 15-17%, con punte fino al 30% in alcuni casi specifici. Lo studio stima anche una riduzione dei consumi nelle abitazioni in affitto variabile tra 28% e 42% (anche se a valle di una vasta campagna di informazione, nonché di contributi pubblici per l'installazione di sistemi di controllo e di altre misure di efficienza). Lo studio parla anche di un ritardo di 1-2 anni nel cambiamento effettivo delle abitudini dei consumatori dopo l'installazione di sistemi individuali. Questo ha portato a considerare che, ai fini della valutazione dell'efficienza economica di tali sistemi, i benefici iniziano a verificarsi a partire dal secondo anno di vita del contatore. La variabilità delle stime, unitamente all'incertezza relativa ai costi dei contatori individuali ha quindi spinto a tenere conto di un risparmio potenziale del 20% costante nell'intero periodo di osservazione (10 anni).

Per quanto riguarda invece i risparmi potenziali conseguenti alle modalità di feedback diretto/indiretto ed alla fatturazione informativa all'utente finale, non si dispone di studi specifici per il settore calore. Uno studio di letteratura commissionato dal DEFRA (UK Department for Environment, Food & Rural Affairs) all'Università di Oxford e relativo al settore elettrico ha stimato benefici del feedback diretto (i.e. in home display) variabili tra 5% e 15% e del feedback indiretto (i.e. fatturazione informativa) variabili tra 0% e 10%[14]. Il regolamento [15] fissa una frequenza di fatturazione almeno annuale.

L'approccio regolatorio adottato in UK [15] per la valutazione dell'efficienza economica dell'installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale richiede quindi di tenere debito conto dei costi capitali di acquisto, installazione, gestione e manutenzione dei contatori attraverso la valutazione dei seguenti parametri:

- la tipologia di edificio, età e numero degli appartamenti residenziali e non domestici nell'edificio;
- il numero di piani dell'edificio;
- la localizzazione geografica dell'edificio;
- nel caso di edificio privo di utenze residenziali la destinazione d'uso dell'edificio;
- i costi di accesso alle utenze private o non domestiche, inclusi i costi legali,
- i costi per l'intercettazione e l'isolamento delle tubazioni;
- i costi di ripristino dell'edificio in conseguenza dell'installazione;
- i costi di installazione dei sistemi per il controllo della temperatura;
- i costi HW e SW per l'acquisizione dei dati di misura da utilizzare per la fatturazione;
- i costi di emissione delle fatturazioni e delle informazioni aggiuntive;

- i costi di verifica periodica dei contatori per assicurare l'accuratezza della ripartizione.

I benefici attesi in un periodo di 10 anni successivo all'installazione sono fissati pari a:

- il 20% dei consumi di energia nel caso di edificio costituito prevalentemente di appartamenti residenziali, ad esclusione del primo anno successivo all'installazione e per il quale si applica il 10%;
- il 10% dei consumi di energia per gli altri edifici, ad esclusione del primo anno successivo all'installazione e per il quale si applica il 5%.

Il DECC ha inoltre messo a disposizione degli utenti un tool informatico [16] per la valutazione della fattibilità tecnica ed economica della contabilizzazione individuale dei consumi di riscaldamento/raffreddamento/acqua calda sanitaria. Il tool informatico prevede l'inserimento di dati specifici dell'edificio e si basa sulle seguenti ipotesi [17]:

- il tasso di interesse è fissato al 9%;
- Il VAN è calcolato su un periodo di 10 anni;
- si applica ad edifici con più di un unità abitativa;
- negli edifici residenziali si considera un risparmio % di energia attraverso l'uso di contatori diretti individuali (HM) o di sistemi indiretti di contabilizzazione (HCA) pari al 20% (solo per il primo anno pari al 10%);
- negli edifici non residenziali si considera un risparmio pari al 10% (solo per il primo anno pari al 5%) di energia attraverso l'uso di contatori diretti individuali (HM) o di sistemi indiretti di contabilizzazione (HCA);
- si considera un'efficienza della rete di distribuzione del 90% (fino al perimetro esterno dell'edificio e non dentro il perimetro);
- rendimento caldaia pari all'85%;
- costo attuale del gas (£/kWh) è fornito dal DECC [18];
- la fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione del calore per raffreddamento viene applicata solo agli edifici non domestici;
- vita utile dei dispositivi è fissata come di seguito indicato: i) HM, HCA e contatore di ACS pari a 10 anni; ii) valvole termostatiche pari a 15 anni.

Il tool informatico predisposto dal DECC per fornire supporto ai soggetti obbligati nella valutazione della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione negli impianti centralizzati di riscaldamento, raffreddamento e acqua calda sanitaria, relativamente ai costi capitali e di gestione, prevede quanto segue:

- il costo medio di un HM per uso domestico con interfaccia di comunicazione wireless senza necessità di allacciamento elettrico e con funzionalità di *automatic meter reading* (AMR) è di £ 200;
- il costo base di installazione di un HM per uso domestico è di £ 60, quando non sono individuate problematiche particolari. I fattori che possono incrementare il costo di installazione (del 25%, 50% o 100%) sono: i) la difficoltà di accesso alla proprietà e alle aree l'installazione dei contatori (si/no); ii) la possibilità di intercettare facilmente la tubazione di mandata e di ritorno senza dover intervenire sulla facciata dell'edificio (e.g. armadietto di montaggio); iii) se sono presenti valvole di isolamento che consentano facilmente il montaggio per singola unità immobiliare; iv) se è disponibile un tratto di tubazione di almeno 600 mm all'ingresso dell'unità immobiliare;
- il sistema di raccolta dei dati (sia per HM che per HCA) ha un costo di: i) £ 650 per edifici con 8 appartamenti; ii) £ 800 per edifici con 32 appartamenti; iii) £ 950 per edifici con 64 appartamenti; iv) £ 2.000 per edifici con un massimo di 250 appartamenti.
- per l'installazione ed avviamento del sistema di raccolta dati (sia per HM che per HCA) sono indicati i seguenti costi (viene considerato un costo medio di £ 7.500 per un gruppo di 250 appartamenti): i) £ 50/APP fino a 50 appartamenti; ii) £ 30/APP da 51a 150 appartamenti; iii) £ 20/APP da 151a 250 appartamenti;
- per il Software set up un costo una tantum di £ 15/APP (sia per HM che per HCA);

- i ricevitori (sia per HM che per HCA) hanno un costo unitario di £ 200 (NB: il numero di ricevitori può variare in funzione delle caratteristiche dell'edificio; in media può essere necessario un ricevitore ogni 10 m e per ogni coppia di piani dell'edificio (in edifici con meno di 5 appartamenti, si considera un ricevitore ogni 2 piani; con meno di 9 appartamenti, 2 ricevitori ogni 2 piani; negli altri casi 3 ricevitori ogni 2 piani)
- i costi gestionali minimi per il servizio in outsourcing (lettura dei contatori, elaborazione dati e informazioni per la fatturazione) sono stimati pari a £ 70/APP ogni anno (sia per HM che per HCA);
- il costo capitale dei contatori di ACS è stimato pari a £ 150/APP, inclusa installazione;
- il costo capitale degli HCA è pari a £ 40/unità, inclusa installazione (sia per utenze domestiche che non domestiche);
- i costi di acquisto ed installazione delle valvole termostatiche sono inclusi nei costi di HM/HCA;
- il costo di acquisto ed installazione di un termostato di appartamento o zona termica (fino a 100 m<sup>2</sup>) è assunto pari a 50 £/un;
- per gli edifici in cui sono presenti sia utenze domestiche che non domestiche si considera una stima combinata dei costi;
- alle utenze non domestiche i costi degli HM di fornitura possono aumentare con la taglia del contatore; si considera pertanto un costo medio di £ 1.500. Tutte le altre componenti di costo sono considerate uguali a quelle delle utenze domestiche.

## 2.2. Modello AEEGSI degli Edifici in base al Fabbisogno Energetico

Al fine di dare attuazione ai compiti di regolazione e controllo nel settore del teleriscaldamento e del teleraffrescamento conferiti all'Autorità dal D.Lgs 102 [2], l'AEEGSI ha emesso il Documento per la Consultazione DCO 252/2016/R/TLR[19]. Tra i compiti dell'AEEGSI rientrano infatti quelli in materia di misura e contabilizzazione individuale dei consumi, fatturazione, accesso dei consumatori finali alle informazioni sulla fatturazione e ai propri dati di consumo, anche storici.

In relazione all'installazione dei sistemi di misura individuale di calore/freddo/acqua calda sanitaria con impianto centralizzato o riforniti da reti di teleriscaldamento, è possibile proporre tre classi di edifici (così come suggerito dalla Guida EMPIRICA), in relazione alla tipologia e destinazione d'uso dell'edificio ed ai fabbisogni energetici riscaldamento/raffrescamento/ACS. In particolare, la classificazione degli edifici dovrebbe prevedere:

- una classe di edifici obbligati, costituita dalle tipologie edilizie per le quali è certo un ritorno economico dell'investimento per l'utente finale;
- una classe di edifici esenti, costituita dalle tipologie edilizie per le quali è dimostrata la diseconomicità dell'investimento per l'utente finale;
- una classe di edifici da valutare costituita dalle tipologie edilizie per le quali non è possibile stabilire a priori la convenienza economica certa dell'investimento per l'utente finale.

Per poter semplicemente ed efficacemente individuare le sopra descritte tre classi di edifici per ciascuna necessità energetica (e.g. riscaldamento, raffrescamento e ACS), è possibile far riferimento:

- alla classificazione di cui all'Art. 3 del DPR 412/93[20], aggiungendo gli edifici polifunzionali che comprendono più tipologie al loro interno;
- al numero di unità immobiliari presenti, indipendentemente dal numero dei proprietari;
- al fabbisogno energetico nelle condizioni standard per riscaldamento ( $EP_H$ ), raffreddamento ( $EP_{HP}$ ) e acqua calda sanitaria ( $EP_W$ ) così come descritto dalla normativa tecnica[21], [22], [23], [24] e [25].

Lo svantaggio di questo approccio è quello di obbligare tutti i soggetti a valutare/certificare i fabbisogni energetici dell'intero edificio, che comunque andrebbero valutati ai fini della determinazione dei consumi involontari in conformità alla UNI 10200 [26], ovvero del progetto del sistema di contabilizzazione.

Si deve tuttavia considerare che il fabbisogno energetico nelle condizioni standard (i.e. *asset rating*) raramente coincide con quello effettivo nelle condizioni di esercizio (i.e. *operational rating*) sia per le diverse condizioni climatiche annuali (i.e. gradi giorno effettivi), sia per le diverse modalità di conduzione dell'impianto (e.g. ore di accensione, attenuazione notturna, temperatura impostata), sia infine per le inevitabili incertezze connesse alla stima del fabbisogno (e.g. trasmittanze, ricambi di aria, ponti termici, rendimenti). Nella maggior parte dei casi, il fabbisogno energetico stimato in condizioni standard sovrastima quello in condizioni di esercizio.

Per poter ovviare a questa problematica si dovrebbe far riferimento al grado di occupazione dell'edificio o in alternativa al fabbisogno energetico nelle condizioni di esercizio. Per le particolari finalità del presente rapporto, gli autori ritengono che la stima univoca e puntuale del grado di occupazione o del fabbisogno nelle condizioni di esercizio degli edifici sia particolarmente difficoltosa e che, inoltre, comporterebbe il rischio di minimizzazione dei benefici attesi dall'introduzione di questa misura in particolari situazioni (e.g. seconde case in montagna, ...).

Per quanto concerne il consumo di ACS è analogamente possibile riferirsi al fabbisogno annuale  $EP_w$  nelle condizioni standard ovvero calcolato sulla base della metodologia UNI 11300-2:2014 [31], ovvero in base ai volumi di ACS consumati ed alla differenza di temperatura di erogazione e di immissione dell'acqua calda.

Al fine di individuare gli edifici obbligati per i quali è certo un ritorno economico dell'investimento per l'utente finale possono quindi essere considerate le condizioni più sfavorevoli sia in termini di costi dell'intervento (e.g. edifici con pochi appartamenti), che in termini di benefici attesi. Analogamente, per poter determinare gli edifici esenti per i quali è dimostrata la non convenienza economica dell'investimento per l'utente finale, possono essere considerate le condizioni più favorevoli in termini di benefici attesi, mantenendo inalterate le condizioni di costo (per evitare di differenziare le classi di edifici in funzione del numero di appartamenti presenti).

Nel DCO 252/2016/R/TLR [19], l'AEEGSI presenta i risultati dell'analisi costi-benefici relativa all'installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale negli edifici di tipologia E.1.1 e E.1.2, di cui al D.P.R. n. 412/93, riforniti da una rete di teleriscaldamento per riscaldamento, raffrescamento e ACS. La suddetta analisi ha consentito di determinare i valori limite di fabbisogno energetico specifico, per gli edifici obbligati e per quelli esenti. A tal fine l'AEEGSI ha previsto le seguenti ipotesi:

- durata dell'investimento  $p=10$  anni (comenella Guida Empirica [7], approccio UK [13] e Svedese);
- tasso di interesse reale (i.e. incluso il tasso di inflazione)  $R_R$ =variabile tra 4% e 10%;
- tariffa dell'energia per riscaldamento e ACS  $T_H$  (€/kWh) ricavata dalla tariffa media del gas  $T_{gas}$  (€/Sm<sup>3</sup>) fornita da AEEGSI [39] e stimata pari a 0,80 €/Sm<sup>3</sup> IVA inclusa con PCS convenzionale fissato pari a 38.52 MJ/Sm<sup>3</sup>, attraverso la formula  $T_H = 3.6 \cdot T_{gas}/PCS$ ;
- tariffa dell'energia per raffrescamento  $T_{HP}$  (€/kWh) ricavata dalla tariffa elettrica fornita da AEEGSI [39] e posta pari a 0.1895 €/kWh IVA inclusa;
- per il servizio di raffrescamento viene considerato un fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria  $f_{p,tot}$  pari a 2.42, come indicato nel DM 26 giugno 2015 "requisiti minimi" [28];
- tariffa dell'acqua fredda  $T_W$  (€/m<sup>3</sup>) posta pari a € 1.70/m<sup>3</sup> IVA inclusa;
- relativamente ai costi per le modifiche sul sistema di generazione dell'edificio conseguenti alla installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale (e.g. fornitura ed installazione di pompe inverter di circolazione) ed alla messa a punto dell'impianto (e.g. pulizia impianto, svuotamento, riempimento fluidi protettivi) si considera un costo medio omnicomprensivo pari a 100 €/APP e 200 €/ed. per l'installazione;

- non sono stati considerati i costi relativi alle verifiche periodiche degli HM e dei contatori di ACS, dal momento che la verifica dei suddetti sistemi<sup>1</sup> potrebbe non ritenersi obbligatoria e, in ogni caso, risulterebbe più economica la sostituzione con un nuovo contatore individuale (sia HM che ACS) al termine dei 10 anni di durata dell’investimento.
- viene considerato un costo relativo al progetto del sistema di contabilizzazione inclusa l’emissione dell’attestato di prestazione energetica (APE) pari a 100 €/APP;
- viene considerata una superficie media per appartamento  $S_u=80 \text{ m}^2$  [29];
- viene considerato un numero medio di 5 radiatori per appartamento.

Il metodo AEEGSI prevede inoltre:

- per i singoli dispositivi di contabilizzazione individuale si considera la disponibilità di interfaccia di comunicazione wireless adatti alla lettura a distanza senza necessità di entrare nell’appartamento dell’utente;
- i costi di installazione prevedono installazioni standard, ovvero quando non sono individuate problematiche impiantistiche particolari che possono incrementare il costo in maniera molto variabile (e.g. la difficoltà di accesso alla proprietà e alle aree l’installazione dei contatori, la possibilità di intercettare facilmente la tubazione di mandata e di ritorno senza dover intervenire sulla facciata dell’edificio, la presenza di valvole di isolamento che consentano facilmente il montaggio per singola unità immobiliare, la disponibilità di tratti di tubazione rettilinei all’ingresso dell’unità immobiliare);
- il sistema di raccolta dei dati è identico sia per HM che per HCA (come anche nell’approccio UK) e per l’installazione ed avviamento del sistema di raccolta dati si considera incluso il costo di acquisto e installazione del SW;
- si considera la necessità di un concentratore ogni 6 appartamenti in media (il numero di ricevitori potrebbe però variare in funzione delle caratteristiche dell’edificio);
- i costi gestionali prevedono lettura e fatturazione almeno bimestrale, ovvero almeno 3 letture/fatturazioni per riscaldamento/raffrescamento e 6 per ACS ogni anno.

Sulla base dei dati di ingresso e dei costi standard, il metodo AEEGSI elabora i seguenti parametri:

$EP_{H,ed}$	Fabbisogno teorico edificio per riscaldamento, kWh/anno	$EP_{H,ed} = EP_H \cdot S \cdot N_{APP}$	(1)
$EP_{HP,ed}$	Fabbisogno teorico edificio per raffrescamento, kWh/anno	$EP_{HP,ed} = EP_{HP} \cdot S \cdot N_{APP}$	(2)
$EP_{W,ed}$	Fabbisogno teorico edificio per ACS, kWh/anno	$EP_{W,ed} = EP_W \cdot S \cdot N_{APP}$	(3)
$CE_H$	Costo energetico teorico riscaldamento, €/anno	$CE_H = T_H \cdot EP_{H,ed}$	(4)
$CE_{HP}$	Costo Energetico teorico raffrescamento, €/anno	$CE_{HP} = T_{HP} \cdot EP_{HP,ed}$	(5)
$N_{CS,ed}$	Numero di corpi scaldanti edificio	$N_{CS,ed} = N_{CS,app,m} \cdot N_{APP}$	(6)
$CS_H$	Risparmio potenziale riscaldamento, €/anno	$CS_H = ES_H \% \cdot CE_H$	(7)
$CS_{HP}$	Risparmio potenziale raffrescamento, €/anno	$CS_{HP} = ES_C \% \cdot CE_{HP}$	(8)
$CE_W$	Costo energetico teorico ACS, €/anno	$CE_W = T_{en} \cdot EP_W$	(9)

<sup>1</sup> La EED [3] ed il D.Lgs. 102/2014 [1], non stabiliscono esplicitamente l’obbligatorietà dell’omologazione ai sensi della direttiva MID [41] dei contatori individuali di energia termica e ACS utilizzati nei sistemi di contabilizzazione individuale.

$CS_{W,e}$	Risparmio potenziale di energia per ACS, €/anno	$CS_{W,e} = CS_W\% \cdot CE_W$	(10)
$CS_{W,v}$	Risparmio potenziale acqua per ACS, €/anno	$CS_{W,v} = T_W \cdot CS_W\% \cdot V_W \cdot G$	(11)
$CS_W$	Risparmio potenziale per ACS, €/anno	$CS_W = CS_{W,e} + CS_{W,v}$	(12)

Gli interventi di installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale per i quali è stata effettuata l'analisi costi-benefici sono descritti in Tabella 3.

**Tabella 3 – Tipologia costi standard per sistemi diretti (HM)**

Descrizione	Quantità / Note	Voce di costo
Contatore di fornitura	Uno per edificio (solo nei super condomini)	CAPEX
Contatore individuale (HM)	Uno per appartamento	CAPEX
Gruppo valvola/detentore/testa termostatica	Uno per corpo scaldante	CAPEX
Sistema di acquisizione dati centrale (SAD)	Uno per edificio	CAPEX
Eventuali concentratori/ripetitori (SAC)	In funzione delle caratteristiche dell'edificio	CAPEX
Fatturazione informativa	Bimestrale	OPEX
Verifica periodica HM	Non conveniente economicamente	OPEX
Progetto sistema contabilizzazione, incluso APE	Uno per appartamento	OPEX
Acquisto ed installazione pompa ricircolo	Una per edificio	CAPEX

Si procede quindi a valutare il valore attuale netto (VAN) della differenza costi-benefici attraverso l'equazione (4). L'analisi costi benefici dell'investimento ha esito positivo quando  $VAN > 0$  con  $n=10$ .

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{(Benefici - Costi)_j}{(1 + TI)^j} \quad (13)$$

In Tabella 4 si riportano i costi standard AEEGSI per i contatori individuali (i.e.  $q_p \leq 3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) come riportati nel DCO 252 [19]. Il DCO non riporta indicazioni in merito ai costi degli impianti di termoregolazione (i.e. gruppo valvola/detentore/testa termostatica) né ai sistemi indiretti (i.e. ripartitori HCA e totalizzatori dei tempi di inserzione).

**Tabella 4 - Costi Standard AEEGSI per i Contatori di Energia Termica HM Individuali**

Descrizione	Costo (€/un.)
Contatore individuale, €/APP	€ 180.00
Installazione <sup>1</sup> contatore HM, €/APP	€ 55.00
Gestione annuale <sup>1</sup> contatore HM, €/APP	€ 10.00
Sistema Centrale di Acquisizione (SAD), €/Ed <sup>3</sup>	€ 580.00
Eventuali concentratori/ripetitori SAC, €/un. <sup>3</sup>	€ 33.25
Progetto sistema contabilizzazione, incluso APE, €/APP	€ 100.00
Pompa di ricircolo, €/APP <sup>2</sup>	€ 100.00
Installazione Pompa di ricircolo, €/Ed	€ 200.00

<sup>1</sup> sono escluse eventuali opere murarie ed idrauliche

<sup>2</sup> costo stimato in maniera linearmente proporzionale alla taglia

<sup>3</sup> inclusa installazione

### 2.3 Il Software DICEM-ENEA per l'analisi Costi-Benefici

La Direttiva europea 2012/27/UE sull'Efficienza Energetica prevede che gli Stati membri adottino misure affinché i clienti finali serviti da un impianto termico centralizzato o da teleriscaldamento ricevano a prezzi concorrenziali contatori individuali di energia termica e/o sistemi di ripartizione del calore che forniscano informazioni relative ai consumi effettivi di energia termica per singola unità abitativa. Tutto ciò nella misura in cui questo sia tecnicamente possibile ed economicamente giustificabile in relazione ai risparmi energetici potenziali.

Gli impianti di riscaldamento presenti negli edifici esistenti in ambito nazionale tipicamente adottano sottosistemi di distribuzione del fluido termovettore che raramente consentono una semplice installazione dei sistemi di misura di energia termica (i.e. sistemi di misura diretti). Ne consegue che l'installazione di tali sistemi risulti spesso onerosa o addirittura tecnicamente non praticabile (e.g. negli edifici storici, negli edifici con vincoli impiantistici/architettonici). In quest'ultimo caso, coerentemente alla Direttiva europea, si rende necessario ricorrere a sistemi alternativi per la ripartizione delle spese di riscaldamento, noti in letteratura come sistemi di contabilizzazione indiretta. Inoltre, data la modesta diffusione del servizio di ripartizione (soprattutto nei climi moderati) non risulta disponibile una letteratura completa relativa ai risparmi energetici e ai benefici economici ottenibili a seguito di una contabilizzazione delle spese di riscaldamento basata sui consumi reali per singola utenza.

Nel presente progetto di ricerca, a valle di una disamina delle scelte tecniche già operate in alcuni paesi europei, è stato progettato e realizzato un software per l'analisi di fattibilità tecnica-economica delle soluzioni più comuni dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione del calore.

La metodologia proposta consente di guidare gli utenti finali ad una univoca analisi della fattibilità tecnica ed economica sulla base della tipologia di utenza, dell'effettive condizioni climatiche e delle specifiche caratteristiche del sistema edificio-impianto.

Il software sviluppato dal DICEM si basa su un interfaccia utente semplice ed è costruito su fogli di calcolo Excel (vedi Figura 1). Il SW di calcolo si basa su sei routine in cui vengono considerati rispettivamente:

a) *le caratteristiche tecniche dell'edificio:*

La metodologia sopra descritta implica necessariamente l'inserimento di alcuni dati che possono essere forniti in maniera univoca (e.g. tariffe dei vettori energetici, numero di GG, giorni di attivazione) ed altri invece relativi all'edificio in questione (e.g. rendimento, dispersioni termiche) ed alla sua localizzazione geografica. I dati il cui inserimento è di stretta competenza del soggetto obbligato che effettua la verifica sono ridotti al minimo e comunque reperibili nei documenti della certificazione energetica dell'edificio;

b) *la verifica della fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione:*

Tale verifica viene effettuata proponendo una serie di domande a risposta obbligata che consentono di tracciare univocamente la scelta tecnicamente perseguibile sulla base delle caratteristiche tecniche dell'impianto esistente e di quello che si intende realizzare;

c) *la stima dei costi fissi e dei costi di esercizio:*

Per la valutazione dei costi fissi e di esercizio si è fatto riferimento ai costi pubblicati nel DCO 252/2016/R/TLR dell'AEEGSI[19]; è opportuno sottolineare altresì che, a differenza della metodologia AEEGSI, in questo caso sono stati valutati gli effettivi costi sostenuti al variare del tipo di installazione e del sistema di regolazione che l'utente sceglie;

*d) la stima dei benefici potenziali ottenibili attraverso la contabilizzazione e termoregolazione:*

Per la valutazione dei benefici attesi è stato valorizzato il risparmio energetico atteso per il servizio di riscaldamento; anche per la stima dei benefici sono stati valutati i benefici ottenibili dalla specifica utenza utilizzando la stima del fabbisogno energetico nelle condizioni standard (asset rating) o effettive (operational rating) a seconda che si tratti di un appartamento ad occupazione saltuaria o continuativa; il software, inoltre, consente l'analisi dei benefici attesi dei diversi sistemi di contabilizzazione diretta ed indiretta sulla base delle specifiche condizioni dell'utenza separando il "beneficio base" (ottenuto dal semplice risparmio derivante da una maggiore consapevolezza e responsabilizzazione nella spesa), dal "beneficio di termoregolazione" (ottenuto a seguito dell'efficientamento dell'impianto termico); per il primo aspetto il beneficio è stato modulato in funzione del i) sistema di contabilizzazione; ii) criterio ripartizione (Contributo Involontario); iii) consapevolezza dell'utente (tipologia di feedback); iv) classe energetica del sistema edificio impianto; v) fascia climatica; per il secondo beneficio si è invece tenuto conto del miglioramento del rendimento dell'impianto termico in funzione della tipologia di sistema di regolazione scelto stimato sulla base della norma UNI TS 11300[21];

*e) la verifica della convenienza economica dei sistemi di contabilizzazione diretta e di ripartizione indiretta:*

La valutazione economica si basa sul calcolo del valore attuale netto dei costi di investimento e annuali di gestione e del valore attuale netto dei benefici attesi.

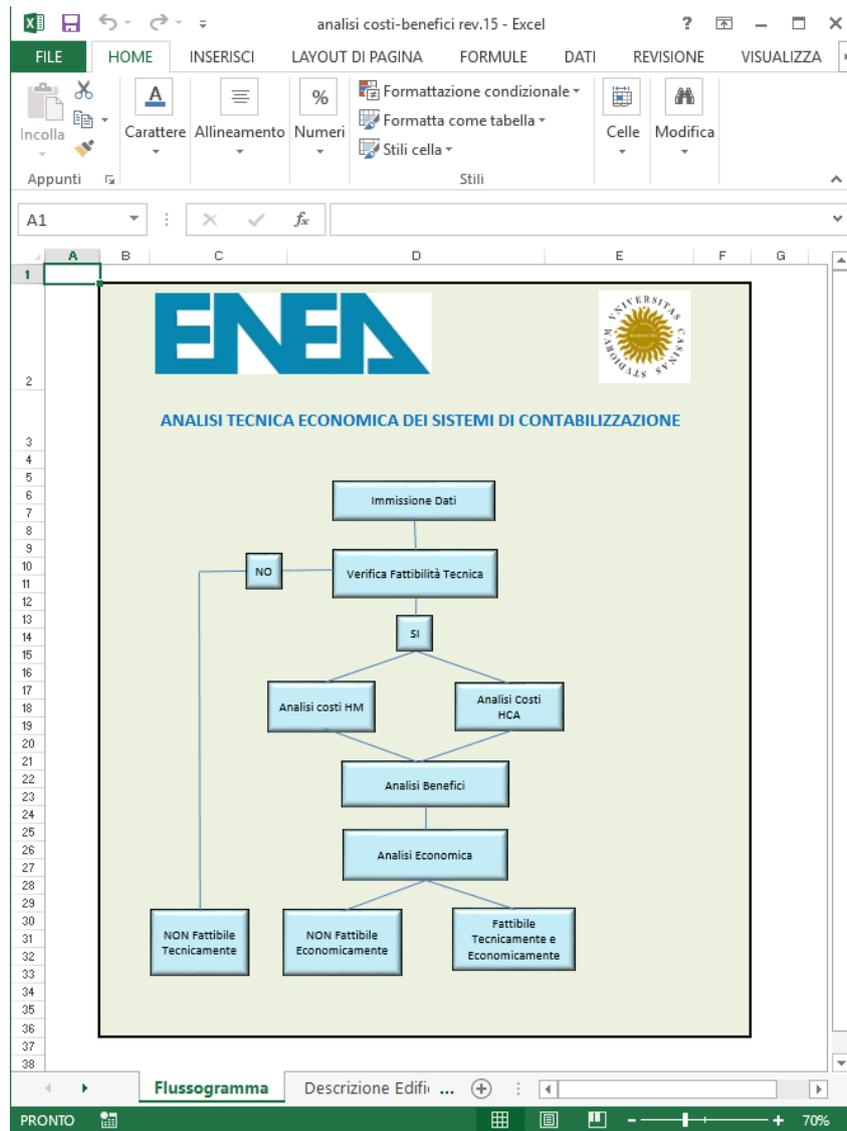


Figura 1 - Software di calcolo DICEM-ENEA

### 2.3.1 Caratteristiche tecniche dell'edificio

Per la valutazione puntuale dei costi e dei benefici il SW raccoglie le informazioni fondamentali sulle caratteristiche del condominio (i.e. Età, Numero appartamenti, Numero corpi scaldanti, Numero piani, Numero Edifici, Superficie utile edifici, apporti gratuiti, costante di tempo), sui consumi energetici (i.e. Consumi di Energia specifici per riscaldamento, Periodo di utilizzo riscaldamento, Classe Energetica, Consumo medio combustibile, Tipo Combustibile), dell'ubicazione (i.e. indirizzo, Comune) e dei relativi dati climatici (i.e. Gradi Giorno, Zona climatica) e dell'uso prevalente (i.e. tipologia, Numero medio persone per appartamento, Fattore d'uso). In Figura 2 si riporta un'immagine del foglio di calcolo relativo alla descrizione dell'edificio.

DESCRIZIONE EDIFICIO	
Ubicazione	Via Varrone, 6
Comune	Cassino (Fr)
Età dell'edificio	1939-1959
Uso prevalente dell'edificio	Residenziale
Numero appartamenti totali	6
Numero corpi scaldanti per appartamento	9
Numero totale di corpi scaldanti	54
Numero piani	4
Numero Edifici	1
Superficie Totale utile edificio [m2]	780
Superficie media unità immobiliare [m2]	130
Energia primaria riferita alla superficie utile (Asset Rating) , Eph [kWh/m2 anno]	200
Gradi Giorno	1164
Zona climatica	C
Periodo di utilizzo riscaldamento	15 novembre-31 marzo
Classe Energetica	G
Numero medio persone per appartamento	4
Consumo medio combustibile (u.c./anno)	15000
Tipo Combustibile	Gas Naturale [kWh/m3]
Potere Calorifero Inferiore, PCI (kWh/u.c.)	8.7
Energia primaria riferita alla superficie utile (Operational Rating), Eph [kWh/m2 anno]	167.3
Fattore d'uso, fu,uso	0.84
Rapporto apporti gratuiti/dispersioni, γ	0.2
Costante di tempo dell'edificio, τ [h]	24

**ESCI**

Figura 2 - Software di calcolo

### 2.3.2 Verifica della fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione

Per poter valutare la fattibilità tecnica l'utente viene guidato con una serie di quesiti sulla tipologia di impianto che si desidera realizzare e su quello esistente. In particolare vengono in principio acquisite le informazioni fondamentali sull'impianto distribuzione e termoregolazione (i.e. tipologia impianto distribuzione, isolamento distribuzione, valvole termostatiche, sistema di termoregolazione, tipologia sistema di contabilizzazione), e successivamente vengono precisate le caratteristiche del sistema di contabilizzazione scelto nel caso di contatori HM (i.e. portata permanente, cassette tubature di ingresso e uscita, punto di intercettazione tubazioni di distribuzione, tracciato del lay out di impianto, lunghezza tratti rettilinei, valvole di isolamento) o dei ripartitori HCA (i.e. tipo di corpo scaldante, modalità di installazione). Viene infine verificata la presenza di vincoli architettonici che possano attenuare la trasmissione del segnale wireless nell'installazione di sistemi di acquisizione centralizzati e la necessità di installare ripetitori di segnale. In Figura 3 si riporta un'immagine del foglio di calcolo relativo alla descrizione del sistema di contabilizzazione.

ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE					
DESCRIZIONE SISTEMA CONTABILIZZAZIONE					
Impianto distribuzione e termoregolazione		Esistente	Nota	da Realizzare	Nota
Q1	Tipologia di impianto di distribuzione	orizzontale			
Q2		Acqua calda a bassa Temperatura (<90°C)			
Q3	Stato di isolamento della distribuzione orizzontale corrente a soffitto del piano cantinato	Isolamento inesistente o gravemente deteriorato	Non richiesto		Non richiesto
Q4	Tipologia di impianto orizzontale	Impianto a distribuzione orizzontale con collettori complanari o monotubo			
Q5	E' prevista l'installazione di valvole termostatiche?				
Q6	Quale è il sistema di termoregolazione?	Solo ambiente con regolazione		Solo ambiente con regolazione	
Q7	Quali sono le caratteristiche del sistema di termoregolazione?	On off			
Q8	E' prevista l'installazione di valvole termostatiche?				
Q9	Esiste già un sistema di contabilizzazione diverso da HM o HCA?	No			
HM		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Sono già installati contatori individuali HM?	No			
Q2	Si vogliono installare dei nuovi contatori individuali HM?	No			
Q3	Quale è la portata permanente di ciascun HM?	qps 3 m3/h	Non richiesto		Non richiesto
Q4	Sono presenti delle cassette in cui sono facilmente rintracciabile le tubature di ingresso e uscita?	No	Non richiesto		Non richiesto
Q5	Esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di distribuzione della mandata e ritorno di ciascun appartamento?	SI	Non richiesto		Non richiesto
Q6	Esiste un tracciato del lay out di impianto ed è intercettabile in almeno un punto la linea di distribuzione?	SI	Non richiesto		Non richiesto
Q7	In prossimità della cassetta di installazione c'è una lunghezza di almeno 600 mm (in modo da installare il contatore di calore in accordo alla normativa tecnica)?	No	Non richiesto		Non richiesto
Q8	Sono installate delle valvole di isolamento che permettono di isolare completamente mandata e ritorno dell'impianto?	No	Non richiesto		Non richiesto
HCA		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Sono già installati dei ripartitori di calore HCA?	No			
Q2	Si vogliono installare dei ripartitori di calore HCA?	SI	Non richiesto		
Q3	Quale tipo di corpo scaldante viene utilizzato?	Radiatori	Non richiesto		
Q4	Come sono installati i radiatori	sotto mensola	Non richiesto		
		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Le murature attenuano la trasmissione del segnale wireless?	SI			
Q2	feedback	nessuno			
Q3	Ci sono dei concentratori/ripetitori?	SI			
Q4	Numero dei concentratori/ripetitori?	0.8			
Sistema di contabilizzazione		Esistenti		da Installare	
		NESSUNO		HCA	

Figura 3 – Analisi della Fattibilità tecnica

### 2.3.3 Stima dei costi fissi (CAPEX) e di esercizio (OPEX)

Per la valutazione dei costi fissi e di esercizio è possibile sia fare riferimento ai costi standard pubblicati nel DCO 252/2016/R/TLR dell'AEEGSI [19], sia immettere i costi effettivi che l'utente raccoglie nel preventivo delle ditte interessate. E' opportuno sottolineare altresì che per i costi standard di installazione sono stati comunque valutati gli extracosti in funzione del tipo di installazione e del sistema di regolazione che l'utente sceglie. In Figura 4 si riporta un'immagine del foglio di calcolo relativo all'analisi dei costi (HM).

 <b>ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE</b> 			
Analisi Costo Sistema diretto con HM individuali			
Descrizione costi base	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Contatore individuale HM, €/APP	€ 180.00	6	€ 1.080.00
Installazione <sup>1</sup> contatore HM, €/APP	€ 55.00	6	€ 330.00
Progetto sistema contabilizzazione (incluso APE), €/APP	€ 100.00	6	€ 600.00
Gestione annuale <sup>1</sup> contatore HM, €/APP	€ 10.00	6	€ 60.00
Descrizione costi aggiuntivi apparati	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Sistema Centrale di Acquisizione (SAD), €/Edif	€ 580.00	0	€ 0.00
Eventuali concentratori/ripetitori, €/unità	€ 33.25	0	€ 0.00
Valvola termostatica, €/CS	€ 40.00	0	€ 0.00
Pompa di ricircolo, €/Edif	€ 100.00	0	€ 0.00
Descrizione costi aggiuntivi installazione	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Costo Cassetta con valvole di isolamento, €/APP	€ 40.00	0	€ 0.00
Raddrizzatore di flusso, €/APP	€ 40.00	0	€ 0.00
Traccia tubazioni e lavori di ripristino, €/APP	€ 150.00	0	€ 900.00
Installazione Pompa di ricircolo, €/Edificio	€ 200.00	0	€ 0.00
Descrizione costi totali	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
CAPEX	€ 485.00	6	€ 2.910.00
OPEX	€ 10.00	6	€ 60.00

ESCI

Figura 4 - Stima dei Costi (HM)

### 2.4.4 Stima dei benefici potenziali ottenibili

Gli studi empirici sulla valutazione dei benefici attesi relativi ai Paesi europei non sono particolarmente numerosi. Tali studi descrivono risparmi energetici che variano da un minimo dell'8% a un massimo del 40% [30], [31] e [32]. Tale variabilità è connessa anche alla diversa impostazione metodologica degli studi disponibili (es.: dimensione e composizione del campione, presenza o meno di un gruppo di controllo, durata temporale dell'analisi/esperimento e conseguente possibilità di osservare gli effetti di lunga durata e la persistenza dei risparmi energetici nel tempo). In particolare, per l'Italia e per i paesi mediterranei esistono pochi studi sistematici ed esperienze documentate relative alla stima dei risparmi energetici attesi o stimati. Si può comunque affermare con una certa ragionevolezza, che il beneficio ottenibile risulta variabile in funzione di [19]:

- ✓ condizioni climatiche (i.e. zona climatica): il risparmio energetico atteso dall'utilizzo di sistemi di termoregolazione è influenzato dagli apporti gratuiti e dalle variazioni climatiche giornaliere (aumentando dal 5-10% a circa il 15-20%);
- ✓ tipologia dell'edificio: il risparmio è maggiore in edifici con peggiori prestazioni energetiche; in tal caso sarebbe dunque opportuno provvedere, in primo luogo, alla riqualificazione dell'edificio e dell'impianto termico
- ✓ numero di appartamenti nell'edificio: si presume che nel caso di edifici con un numero di unità immobiliari maggiori di cinque (es. 20) si possa beneficiare di uno sconto sui costi di acquisto e installazione del sistema di contabilizzazione individuale;
- ✓ tipologia di feedback e livello di informazione dell'utente: la consapevolezza e la partecipazione del cliente finale è stimolata anche attraverso un'informativa sui consumi più frequente (es. informativa con cadenza bimestrale); anche la modalità con cui tale informativa viene trasmessa al cliente può avere rilevanza;
- ✓ tempo intercorso dall'installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale: in generale il beneficio atteso si realizza pienamente dal secondo anno; come già accennato, non sono purtroppo disponibili studi che abbiano valutato la persistenza di tali risparmi nel lungo periodo;
- ✓ criteri adottato per la ripartizione delle spese in contesti con più unità immobiliari: quota per consumi volontari e involontari; una prevalenza della quota connessa ai consumi involontari rispetto a quella connessa ai consumi volontari disincentiva il cliente finale ad adottare comportamenti virtuosi di risparmio energetico.

In relazione al beneficio atteso, l'AEEGSI individua un livello minimo (10%) e massimo (20%) di beneficio atteso in ambito nazionale, in termini di riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento e raffrescamento [19]. In particolare:

- ✓ il livello minimo è ascrivibile alla condizione climatica che attenua il beneficio ottenibile dalla termoregolazione (i.e. oscillazioni termiche limitate e ridotte variazioni degli apporti gratuiti) e a un cliente finale poco capacitato;
- ✓ il livello massimo è associato alla condizione climatica che esalta il beneficio ottenibile dalla termoregolazione, ad una informativa bimestrale sui consumi individuali e a un comportamento attivo e consapevole del cliente finale.

Nel presente rapporto e nel SW di Calcolo DICEM-ENEA, ai fini della valutazione del beneficio potenziale ottenibile si è fatto solo parzialmente riferimento al documento AEEGSI ed alla relativa metodologia descritta, ma si è messo a punto un metodo di previsione che tiene in conto dei differenti benefici in funzione di:

- ✓ criterio ripartizione (al variare del peso del contributo Involontario)
- ✓ consapevolezza (al variare della tipologia di feedback)
- ✓ classe energetica
- ✓ fascia climatica
- ✓ presenza e tipologia sistema di regolazione (al variare del rendimento di regolazione)

Nella successiva Figura 5 si riporta un'immagine del foglio di calcolo utilizzato per la stima dei benefici.

**ENEA**

**ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE**



**Benefici dei sistemi di contabilizzazione**

Beneficio Contabilizzazione	Beneficio esistente		Beneficio atteso		Incremento beneficio
	Tipo	Valore	Tipo	Valore	
<b>Beneficio Base</b>					
Sistema di contabilizzazione		0%		10%	10%
Criterio ripartizione (Contributo involontario)	10%	0.0%	10%	-1.00%	-1.0%
Consapevolezza (feedback)	nessuno	0%	nessuno	0%	0%
Classe Energetica			G	3%	3%
Fascia Climatica			C	1%	1%
<b>Beneficio Termoregolazione</b>					
Tipologia sistema di regolazione (rendimento)	94%	0%	94%	0%	0%
<b>Benefici Totale</b>		0%		13%	13%

ES 01

**Figura 5 - Stima dei Benefici**

In particolare, il SW valuta l'incremento del beneficio tra il sistema esistente e quello che si intende implementare a partire da un beneficio minimo (base) del 10% applicando le seguenti maggiorazioni:

- maggiorazione connessa al criterio di ripartizione (in tal caso all'aumentare della percentuale attribuita al consumo involontario diminuisce il beneficio atteso secondo le percentuali di consumo involontario riportate in tabella stabilite dalla norma UNI 10200)

criterio di ripartizione			
Tipologia dell'impianto	F <sub>h,inv</sub> (frazione del consumo involontario a piena occupazione)		
	A <sup>(1)</sup>	B <sup>(1)</sup>	C <sup>(1)</sup>
Impianto a distribuzione verticale a colonne	0.23	0.25	0.3
Edificio ad un piano	0.22	0.24	0.28
Edificio a due piani	0.21	0.23	0.265
Edificio a quattro piani ed oltre	0.2	0.2	0.25
Impianto a distribuzione orizzontale con collettori complanari o monotubo	0.1		
Impianto con satelliti di utenza con valvole a due vie modulanti e deltaT elevato	0.1		
Impianto con satelliti di utenza con valvole a tre vie e regolazione on-off	0.25		
Impianto con satelliti di utenza con valvole a due vie modulanti e deltaT elevato; produzione di acqua calda sanitaria con scambiatori collegati alla medesima rete	0.35		
Impianto con satelliti di utenza con valvole a tre vie e regolazione on-off; produzione di acqua calda sanitaria con scambiatori collegati alla medesima rete	0.5		
Nota (1) Stato dell'isolamento della distribuzione orizzontale corrente a soffitto del piano cantinato: A = eseguito con cura e protetto da uno strato di gesso, plastica o alluminio; B = eseguito con materiali vari (mussola di cotone, coppelle) non fissato stabilmente con strato protettivo; C = isolamento inesistente o gravemente deteriorato			

- maggiorazione connessa alla consapevolezza degli utenti (in tal caso il beneficio atteso varia al variare della tipologia di feedback secondo la seguente tabella)

Feedback	Beneficio
nessuno	0%
display locale	1%
display+boll. Bimestrale	2%
display+internet	3%
display+ cellulare	4%
in home display centralizzato	5%

- maggiorazione connessa alla classe Energetica dell'edificio (in tal caso il beneficio atteso varia secondo la seguente tabella)

Classe Energetica	Beneficio
A4	0
A3	0
A2	0
A1	0
B	0.05
C	0.1
D	0.15
E	0.2
F	0.25
G	0.3

- maggiorazione connessa alla fascia Climatica (in tal caso il beneficio atteso varia secondo la seguente tabella)

Fascia climatica	Beneficio
A	0
B	0.05
C	0.1
D	0.15
E	0.2
F	0.25

- maggiorazione connessa alla presenza e tipologia sistema di regolazione (in tal caso il beneficio atteso varia al variare del rendimento di regolazione secondo la seguente tabella)

Tipologia sistema di regolazione		
Sistemi di controllo	Caratteristiche	
Nessuno		0.88
Solo climatica (compensazione con sonda esterna)		0.88
Solo ambiente con regolazione	On off	0.94
	PI o PID	0.99
	P banda prop. 0,5°C	0.98
	P banda prop. 1°C	0.97
	P banda prop. 2°C	0.95
Climatica + ambiente con regolazione	On off	0.97
	PI o PID	0.995
	P banda prop. 0,5°C	0.99
	P banda prop. 1°C	0.98
	P banda prop. 2°C	0.97
Solo zona con regolazione	On off	0.93
	PI o PID	0.995
	P banda prop. 0,5°C	0.99
	P banda prop. 1°C	0.98
	P banda prop. 2°C	0.94
Climatica + zona con regolazione	On off	0.96
	PI o PID	0.995
	P banda prop. 0,5°C	0.98
	P banda prop. 1°C	0.97
	P banda prop. 2°C	0.96

#### 2.4.5 Analisi della convenienza economica dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione

La valutazione economica dell'efficienza degli interventi di installazione di sistemi individuali di metering e sub-metering negli edifici soggetti all'obbligo di cui alla EED si basa sul calcolo del valore attuale netto dei costi di investimento e gestione nonché del valore attuale netto dei benefici attesi. Il modello adottato si basa sulla norma UNI EN 15459, esplicitamente richiamata nel documento esplicativo UE ed all'art.9 comma 5 punti b) e c) del DL 102/2014. La norma definisce i seguenti parametri: i) Il tasso di interesse reale  $R_R$ , ovvero il tasso di interesse di mercato corretto con il tasso di inflazione  $R_i$ , ii) Il tasso di sconto  $R_d(p)$ , iii) Il fattore di attualizzazione  $f_{pv}(n)$ , ovvero il coefficiente moltiplicativo di costi/ricavi per ottenere il corrispondente valore riferito all'anno iniziale. I parametri sopra descritti sono calcolati mediante le seguenti equazioni:

$$R_R = \frac{R - R_i}{1 + R_i/100}$$

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + R_R/100} \right)^p$$

$$f_{pv}(n) = \frac{1 - \left(1 + \frac{R_R}{100}\right)^{-n}}{R_R/100}$$

La valutazione economica dell'investimento può quindi essere effettuata attraverso il calcolo del costo globale dell'investimento  $C_G(\tau)$  o, in alternativa, attraverso la stima del Costo Annuale. Con quest'ultimo

metodo tutti i costi sono trasformati in un costo medio attualizzato. Allo scopo sono utilizzate le seguenti equazioni:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

$$a(n) = \frac{1}{f_{pv}(n)}$$

in cui: i)  $R_i$  è il tasso annuale di inflazione (che può dipendere dall'anno i-esimo); ii)  $p$  è il numero di anni; iii)  $\tau$  è il periodo investigato in anni; iv)  $C_I$  è l'investimento iniziale, v)  $C_{a,i}(j)$  sono i costi annuali per l'anno i-esimo e per ciascun componente j-esimo, incluso i costi di gestione e quelli periodici per la sostituzione; vi)  $R_d(i)$  è il tasso di sconto per l'anno i-esimo, vii)  $V_{f,\tau}(j)$  è il valore finale del componente j-esimo alla fine del periodo investigato.

Il SW implementato calcola quindi, sulla base del modello su descritto, la fattibilità economica dell'investimento (Figura 6).

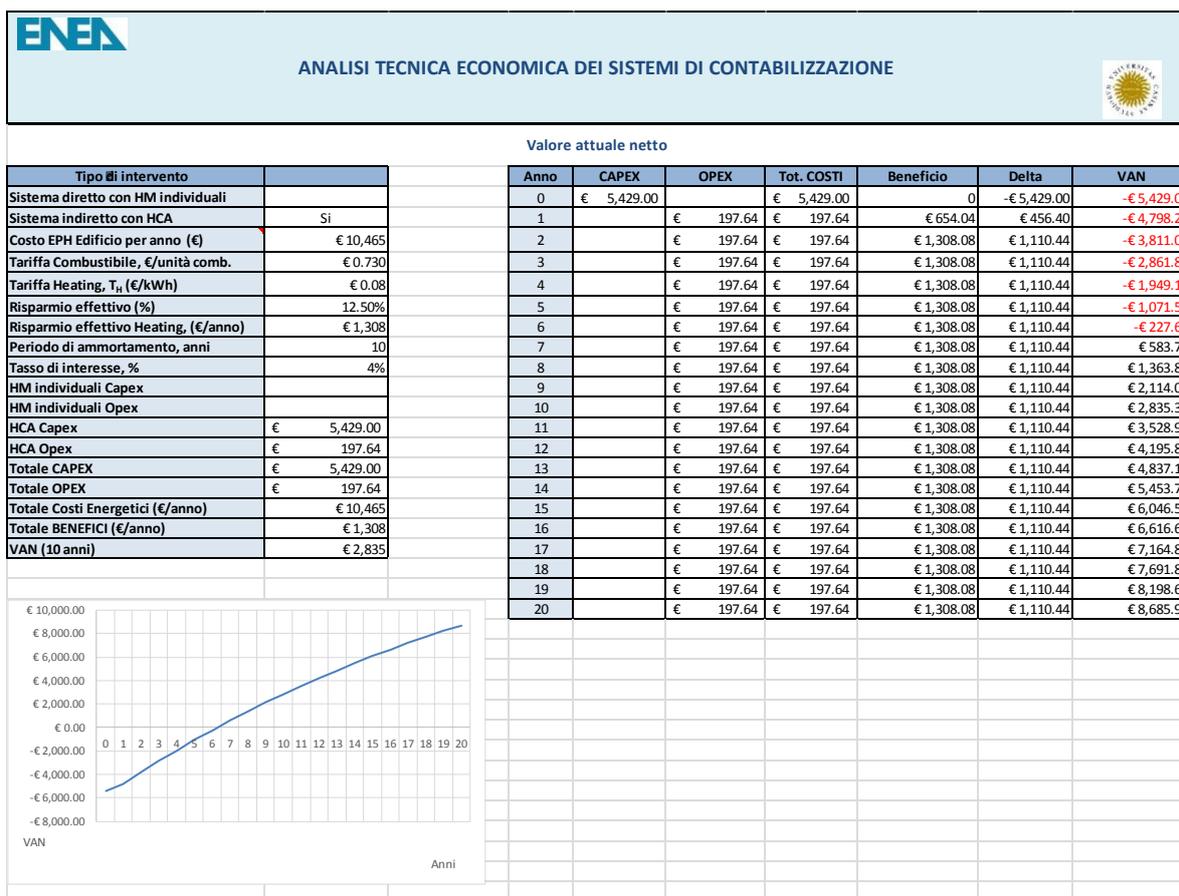


Figura 6 – Analisi costi-benefici

Di seguito viene inoltre riportata un'analisi di sensibilità effettuata utilizzando il SW di calcolo messo a punto relativamente alla efficienza economica dei sistemi di ripartizione diretti (HM) ed indiretti con HCA, considerando i costi CAPEX ed OPEX riportati in Tabella 2 nelle seguenti ipotesi: i) superficie media

appartamento 80 m<sup>2</sup>; ii) numero medio di corpi scaldanti per appartamento NCS=5; iii) durata dell'investimento p=10 anni; iv) beneficio atteso compreso tra BA=10% e BA=40%; v) tasso di interesse reale (i.e. incluso il tasso di inflazione) R<sub>R</sub>=pari a 4%; vi) tariffa dell'energia T<sub>H</sub> (€/kWh) per riscaldamento ricavata dalla tariffa media del gas T<sub>gas</sub>=0.80 €/Sm<sup>3</sup> considerando il potere calorifico superiore convenzionale PCS=38.52 MJ/Sm<sup>3</sup>. Per tale stima non sono stati considerati i costi per le modifiche sul sistema di generazione dell'edificio conseguenti alla installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale (e.g. fornitura ed installazione di pompe inverter di circolazione) ed alla messa a punto dell'impianto (e.g. pulizia impianto, svuotamento, riempimento fluidi protettivi). In Figura 7 sono riportati in forma grafica l'andamento del VAN a 10 anni al variare del beneficio atteso (BA=10% e BA=40%) e in funzione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento in condizioni standard (EPH) per un edificio con 12 appartamenti. E' evidente che al diminuire del beneficio atteso (sia per HM che per HCA) diminuisce il valore di EPH per il quale l'intervento inizia ad essere economicamente efficiente. Questo valore risulta compreso tra 85 e 325 kWh/m<sup>2</sup> per HM e tra 80 e 315 kWh/m<sup>2</sup> per HCA.

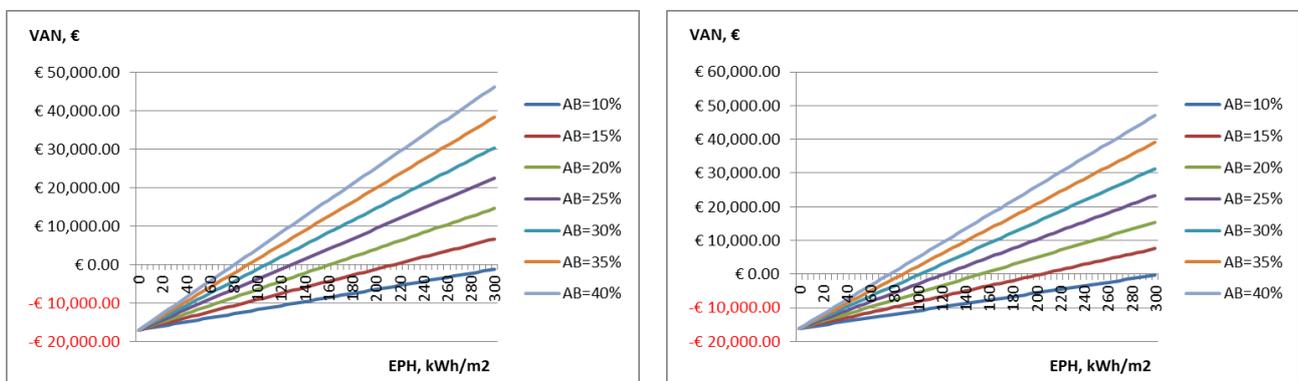


Figura 7 –VAN a 10 anni in funzione di EPH: a) con HM, b) con HCA

L'analisi costi-benefici riportata ha evidenziato alcuni aspetti critici rispetto all'applicazione della Direttiva 2012/27/EU sull'efficienza energetica. L'analisi di sensibilità dimostra una rilevante dipendenza dell'efficienza economica, oltre che dai costi capitali e di gestione annuali, dai benefici attesi, dalla qualità energetica dell'edificio (ovvero dal suo fabbisogno energetico) e dalle sue dimensioni. Le valutazioni effettuate dagli autori si basano su dati di letteratura relative ad alcuni paesi europei che hanno effettuato analoghe valutazioni in mercati e condizioni climatiche diverse da quella Nazionale. In particolare, sia per gli HM che per gli HCA, nel caso in cui si utilizzi un sistema di acquisizione dati che consente una lettura dei consumi in tempo reale (e quindi sia una maggiore consapevolezza degli utenti e sia la possibilità di teleleggere il dato a distanza) i risultati ottenuti mostrano che:

- ✓ al diminuire del beneficio atteso diminuisce il valore del fabbisogno energetico dell'edificio per il quale l'intervento risulta economicamente efficiente;
- ✓ analogamente al diminuire del fabbisogno energetico diminuisce l'efficienza economica dell'investimento (che risulta sempre economicamente non conveniente per valori del fabbisogno EP<sub>H</sub><50 kWh/m<sup>2</sup>);
- ✓ Il valore del fabbisogno energetico limite oltre il quale i sistemi di contabilizzazione risultano efficienti economicamente dipende dal numero di appartamenti, soprattutto negli edifici di piccole dimensioni.

Gli autori ritengono che sia necessario effettuare un puntuale rilievo dei costi capitali e di gestione relativi al mercato Nazionale e una campagna sperimentale finalizzata alla determinazione dei benefici attesi nelle tipiche condizioni di utilizzo e climatiche mediterranee.

### 3 Realizzazione e messa a punto di un sistema sperimentale per la contabilizzazione del calore in campo

Nell'ambito del progetto di ricerca è stata realizzata una campagna di misura sperimentale su un edificio reale per la valutazione tecnico-economica delle prestazioni dei sistemi di ripartizione del calore in campo. La ricerca è stata finalizzata ad analizzare le prestazioni metrologiche e le criticità di misura nella contabilizzazione diretta ed indiretta e a valutare gli aspetti connessi alla ripartizione dei costi energetici (i.e. consumi volontari ed involontari, i criteri di ripartizione dei costi energetici, i risparmi energetici conseguibili e l'analisi costi-benefici) conseguenti all'applicazione dei sistemi di ripartizione.

In particolare, le attività di ricerca sviluppate sono state:

- i) l'individuazione dei sistemi diretti ed indiretti da investigare;
- ii) la realizzazione del sistema di misura prototipale in campo, inclusa l'installazione e la programmazione dei sistemi;
- iii) il confronto tra i metodi di ripartizione diretti ed indiretti;
- iv) l'analisi dei consumi e dei criteri di ripartizione dei costi energetici;
- v) la valutazione di possibili fattori correttivi; vi) l'analisi dei costi-benefici dell'installazione.

Il sistema sperimentale in campo è stato ideato e progettato con l'obiettivo di verificare in campo i diversi sistemi di misura e contabilizzazione del calore ad oggi disponibili in ambito nazionale. Il laboratorio prevede nella sua fase di sviluppo completo, oltre che la possibilità di svolgere in campo sperimentazioni riguardo i sistemi di misura e contabilizzazione del calore, l'integrazione con altri sistemi di misura e dunque la possibilità di svolgere una vera e propria diagnosi energetica dell'edificio in tempo reale. La possibilità di installare *smart meter* in corrispondenza dei flussi energetici di interesse, apre difatti la strada a numerosi studi futuri riguardanti:

- ✓ il risparmio energetico ottenibile con l'adozione di sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi energetici, anche sulla base delle diverse modalità con cui viene informato l'occupante dell'edificio (i.e. con in-home display in tempo reale, via internet non in tempo reale);
- ✓ la valutazione di indici di rendimento dei dispositivi e impianti esistenti e definizione delle strategie di efficientamento da intraprendere;
- ✓ l'implementazione di logiche di *fault detection*.

#### 3.1 Descrizione dei sistemi diretti ed indiretti di contabilizzazione investigati

Nelle unità immobiliari investigate sono stati installati:

- i) un contatore di energia termica (HM) in uscita dalla caldaia per la misura dell'energia utilizzata dall'utenza (in ogni appartamento);
- ii) un sistema di ripartizione indiretta con HCA elettronico a due sonde su ciascun radiatore (in ogni appartamento);
- iii) un sistema di contabilizzazione indiretta basato sul metodo dei totalizzatori dei tempi di inserzione compensato con la temperatura media in caldaia (ITC-TC) nelle unità immobiliari del secondo e terzo piano (i.e. AP\_3, AP\_4, AP\_5 e AP\_6).

Al fine di verificare le prestazioni di diversi sistemi commerciali presenti sul mercato sono stati investigati HM e HCA di fabbricanti diversi, mentre i sistemi ITC-TC installati sono di un unico fabbricante (vedi Tabella 5 e Figura 8).

**Tabella 5: Apparati sperimentali investigati**

Unità immobiliare	HM	HCA	ITC-DDC
<u>I Piano</u> AP_1 e AP_2	Compatto, Costruttore A classe accuratezza 3, sensore di flusso a ultrasuoni, ( $Q_p=1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , sonde di temperatura PT 1000)	Elettronico doppio sensore, Costruttore D	non installato
<u>II Piano</u> AP_3 e AP_4	Compatto, Costruttore B, classe accuratezza 3, sensore di flusso volumetrico a getto unico, $Q_p=0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , sonde di temperatura PT 500	Elettronico doppio sensore, Costruttore B	Totalizzatore dei tempi di inserzione compensato con la temperatura media in caldaia, Costruttore C
<u>III Piano</u> AP_5 e AP_6	Separato, Costruttore C, classe di accuratezza 3, sensore di flusso volumetrico a getto unico $Q_p=0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ con sonde di temperatura PT 1000	Elettronico doppio sensore, Costruttore C	



a) HM AP\_1 e AP\_2



b) HM AP\_3 e AP\_4



c) HM AP\_5 e AP\_6



d) HCA AP\_1 e AP\_2



e) HCA AP\_3 e AP\_4



f) HCA AP\_5 e AP\_6

**Figura 8: Apparati sperimentali investigati**

### 3.2 Descrizione dell'edificio investigato

L'edificio investigato è costituito da 6 unità immobiliari, tutte destinate all'uso residenziale. L'edificio è stato edificato intorno al 1950 ed è ubicato nel centro urbano di Cassino (FR). Esso è costituito da 4 piani fuori terra, uno dei quali adibito ad uso commerciale (non oggetto della sperimentazione) e tre ad uso residenziale (Figura 9).



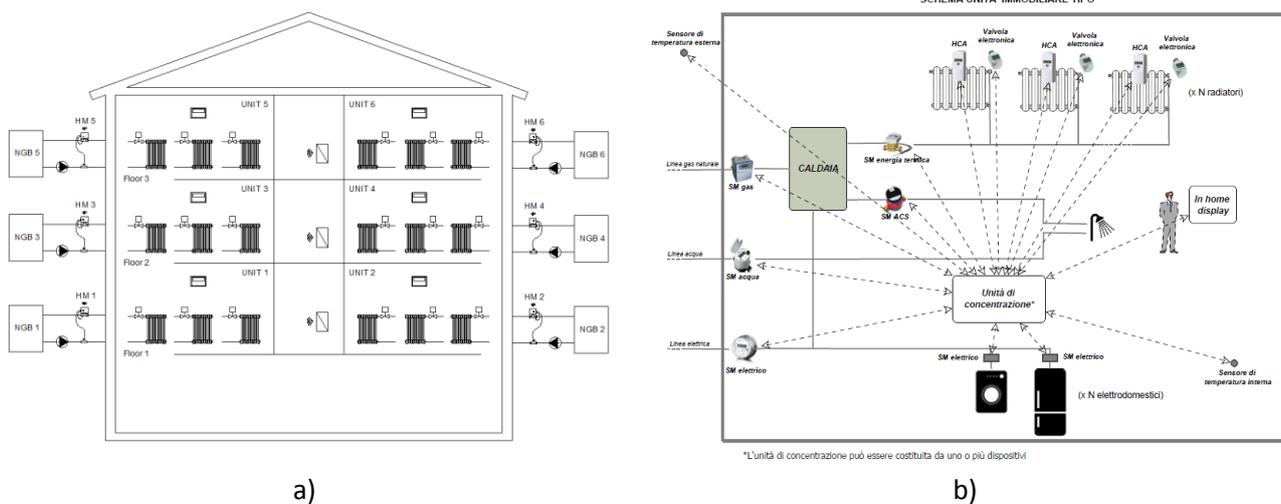
Figura 9 - Edificio investigato

In Tabella 6 sono riportate le principali caratteristiche dell'edificio.

Tabella 6 - Caratteristiche principali dell'edificio investigato

Ubicazione edificio	Cassino (FR)
Zona climatica	C
Gradi giorno	1164
Numero livelli	4
Unità immobiliari coinvolte nella sperimentazione	6
Destinazione d'uso delle unità immobiliari	Residenziale
Superficie totale dell'edificio	1268 m <sup>2</sup>
Superficie riscaldata totale	825 m <sup>2</sup>

Ogni unità abitativa è servita da un impianto di riscaldamento autonomo con caldaia alimentata a gas naturale, un sistema di distribuzione del fluido termovettore orizzontale e radiatori come unità terminali di emissione, come descritto nella successiva Figura 10.



**Figura 10 - Edificio investigato e schema di installazione**

La determinazione della potenza termica nominale dei corpi scaldanti, è stata effettuata secondo le prescrizioni della norma di riferimento EN 442. Per i radiatori per i quali non sono stati reperiti dati di riferimento affidabili è stato utilizzato il metodo dimensionale, descritto nella UNI 10200.

A seguito del rilievo dettagliato delle dimensioni di tutti i corpi scaldanti presenti nelle unità immobiliari coinvolte è stato possibile determinare la potenza termica emessa dai corpi scaldanti per un salto termico di 60°C. Di seguito si riporta il dettaglio delle caratteristiche dei corpi scaldanti presenti in ciascuna unità abitativa e la relativa planimetria. Sono state inoltre verificate puntualmente le condizioni di installazione di ciascun radiatore (mensola, mensola corta, nicchia, tenda, copriradiatore, ...) e, sulla base di dati di letteratura, sono stati applicati opportuni fattori correttivi della potenza emessa.

Ai fini della stima della potenza termica emessa dai corpi scaldanti nelle effettive condizioni di installazione sono stati considerati i fattori correttivi relativi all'installazione del radiatore [29]. I fattori correttivi relativi alla modalità di connessione ed alla verniciatura dei radiatori sono stati considerati pari a 1, essendo sostanzialmente uguali per tutti i radiatori nei singoli appartamenti investigati. Nella successiva Tabella 7 sono riportati i valori del coefficiente correttivo dovuto agli effetti di installazione del radiatore (in presenza di effetti cumulati si considera la sovrapposizione degli effetti):

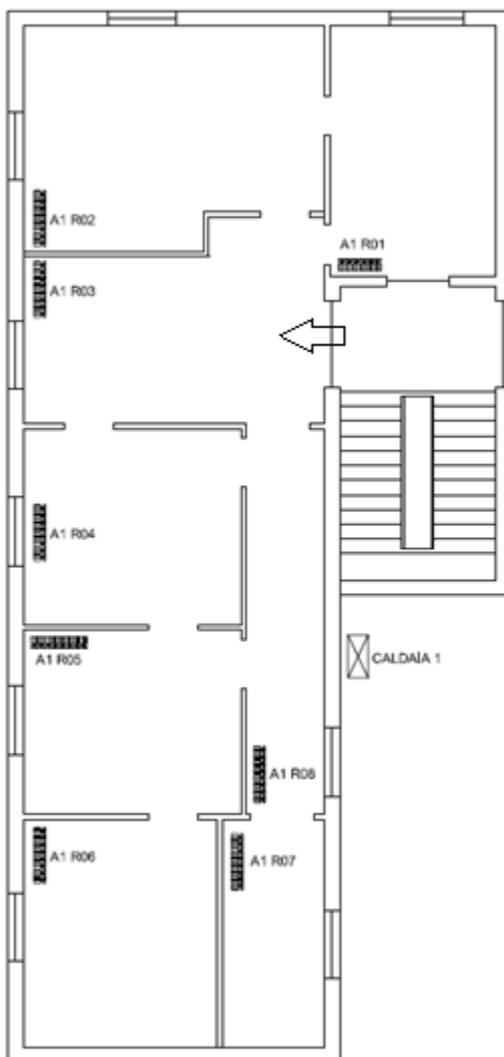
**Tabella 7: Fattore correttivo per gli effetti di installazione**

<i>Tipo di installazione</i>	<i>Riduzione Potenza termica</i>	$F_{in}$
Libera	-	1
Mensola corta	2%	0.98
Mensola	4%	0.96
Nicchia	7%	0.93
Ostruzione (tenda, copriradiatore)	10%	0.90

Di seguito, da Tabella 8 a Tabella 13 sono riportate le caratteristiche dei radiatori presenti nelle singole unità immobiliari, schematicamente rappresentate da Figura 11 a Figura 16.

**Tabella 8: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_1**

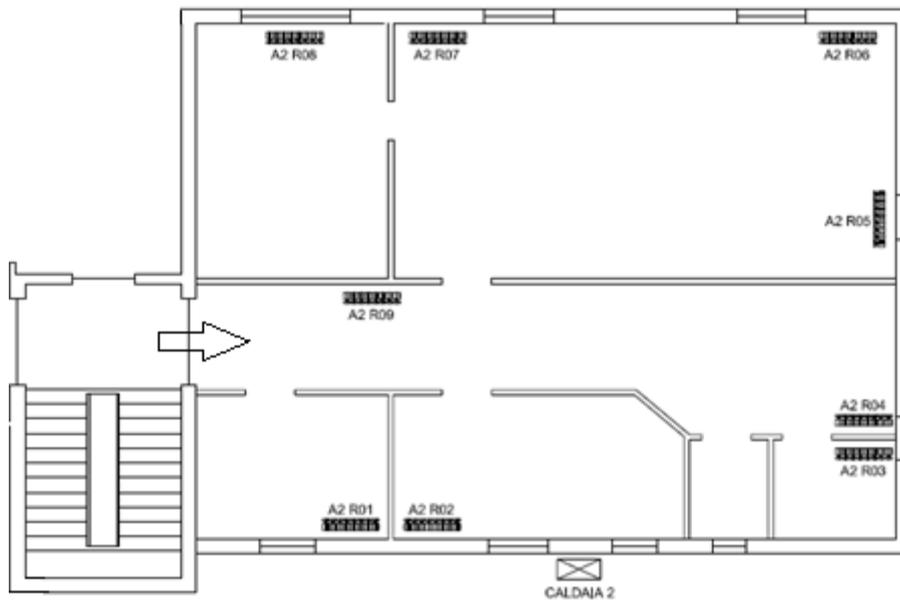
ID radiatore	A1 R01	A1 R02	A1 R03	A1 R04	A1 R05	A1 R06	A1 R07	A1 R08
Ubicazione	ingresso	salottino	telefono	letto 1	letto 2	letto3	bagno	corridoio
Matricola	27487907	27487846	27487853	27487891	27487914	27487945	27487938	27487921
Nr elementi	10	15	8	10	8	11	5	6
interasse, mm	80	80	80	60	80	80	80	80
h tot, mm	885	885	885	685	885	885	885	885
Profondità, mm	145	145	145	145	145	145	230	145
Larghezza, mm	555	825	440	555	440	605	275	330
Mozzo, mm	55	55	55	55	55	55	55	55
C, Wm <sup>3</sup>	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900
S, m <sup>2</sup>	1.40	1.96	1.16	1.12	1.16	1.50	1.02	0.94
V, m <sup>3</sup>	0.071	0.106	0.056	0.055	0.056	0.078	0.056	0.042
Q60, W (nominale)	1643	2403	1319	1283	1319	1784	1266	1010
Installazione	mensola	mensola	mensola	mens.corta	libero	libero	libero	libero
F	0.96	0.96	0.96	0.98	1	1	1	1
Q60, W (corretto)	1577	2307	1267	1258	1319	1784	1266	1010
Valvola	1/2"	1/2"	3/8"	3/8"	3/8"	1/2"	3/8"	3/8"
	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 12	Rame 12



**Figura 11: Planimetria AP\_1**

**Tabella 9: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_2**

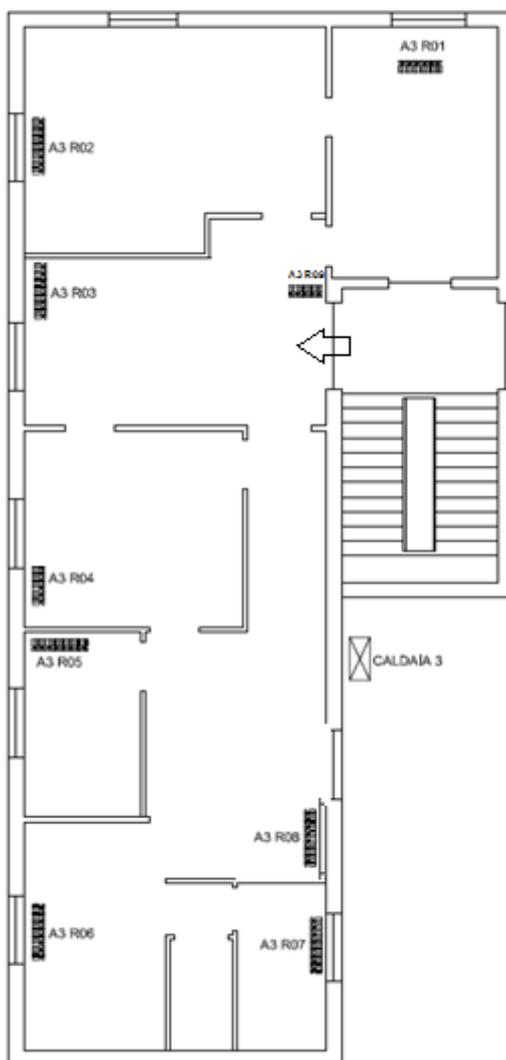
ID radiatore	A2 R01	A2 R02	A2 R03	A2 R04	A2 R05	A2 R06	A2 R07	A2 R08	A2 R09
<b>Ubicazione</b>	studio	cucina	bagno	corr. bag.	salone 1	salone 2	salone 3	salotto	corr. cuc.
<b>Matricola</b>	27419755	27419830	27419700	27419823	27487839	27487822	27492710	27404867	27487808
<b>Nr elementi</b>	11	7	5	5	12	9	9	11	7
<b>interasse, mm</b>	80	80	80	80	60	80	80	50	80
<b>h tot, mm</b>	885	885	885	885	685	885	885	585	910
<b>Profondità, mm</b>	145	230	145	145	145	145	145	145	230
<b>Larghezza, mm</b>	605	385	275	275	660	495	495	605	420
<b>Mozzo, mm</b>	55	55	55	55	55	55	55	55	60
<b>C, Wm<sup>3</sup></b>	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900
<b>S, m<sup>2</sup></b>	1.50	1.27	0.82	0.82	1.29	1.28	1.28	1.05	1.38
<b>V, m<sup>3</sup></b>	0.078	0.078	0.035	0.035	0.066	0.064	0.064	0.051	0.088
<b>Q60, W (nominale)</b>	1784	1722	855	855	1514	1474	1474	1198	1918
<b>Installazione</b>	libero	libero	libero	libero	mens.corta	Mensola	Mensola	mens.corta	libero
<b>F</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	0.96	0.98	1.00
<b>Q60, W (corretto)</b>	1784	1722	855	855	1484	1415	1415	1174	1918
<b>Valvola</b>	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14



**Figura 12: Planimetria AP\_2**

**Tabella 10: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_3**

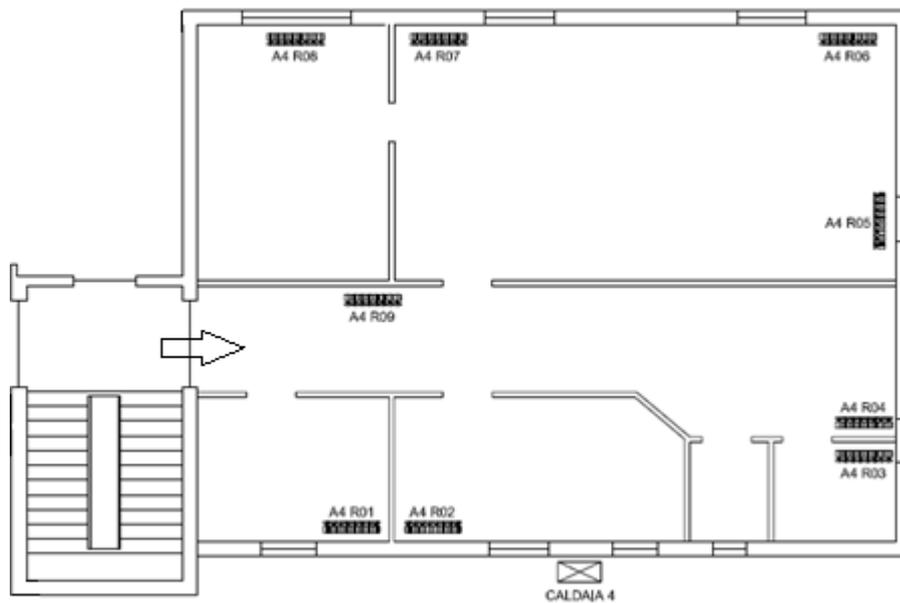
ID radiatore	A3 R01	A3 R02	A3 R03	A3 R04	A3 R05	A3 R06	A3 R07	A3 R08	A3 R09
Ubicazione	salone 1	salone 2	letto 1	letto 2	letto 3	cucina	bagno	pranzo	ingresso
Matricola	31904395	31904374	31904391	31904398	31904382	31904375	31904397	31904394	31904396
Nr elementi	10	12	6	6	7	14	8	8	6
interasse, mm	630	600	800	800	800	600	600	800	800
h tot, mm	710	680	880	880	880	680	680	880	880
Profondità, mm	145	215	145	145	145	145	145	145	145
Larghezza, mm	600	680	335	335	390	775	445	460	335
Mozzo, mm	60	55	55	55	53	53	55	55	55
C, Wm <sup>3</sup>	17000	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900
S, m <sup>2</sup>	1.23	1.51	0.94	0.94	1.05	1.48	0.93	1.20	0.94
V, m <sup>3</sup>	0.062	0.099	0.043	0.043	0.050	0.076	0.044	0.059	0.043
Q60, W	1436.9	2154.1	1018.2	1018.2	1172.2	1754.9	1034.0	1368.2	1018.2
Tipo installazione	mensola	mensola	mensola	mensola	nicchia	mensola	mensola	ostruito	libero
F	0.96	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	0.9	1
Q60, W	1379.4	2068.0	977.5	977.5	1090.1	1684.7	992.6	1231.4	1018.2
Valvola	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	Rame 12	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14				



**Figura 13: Planimetria AP\_3**

**Tabella 11: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_4**

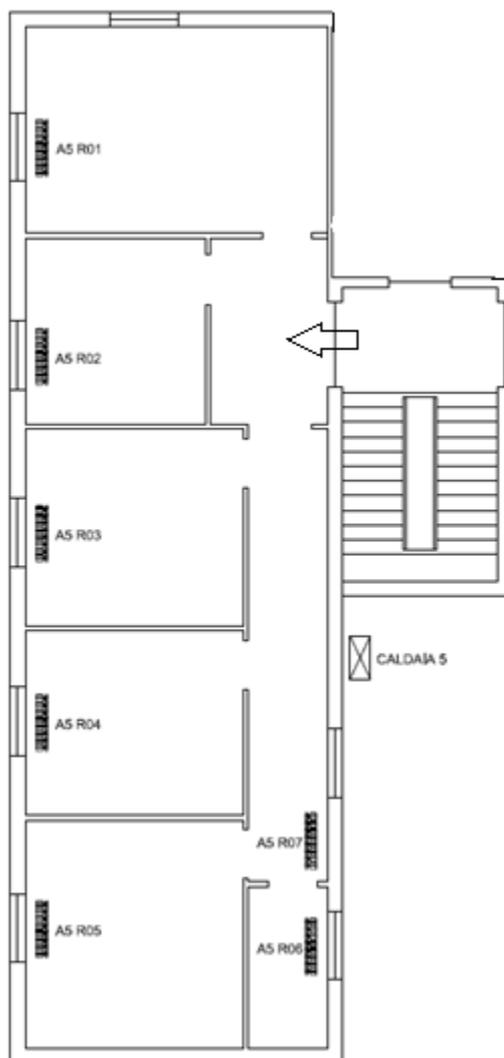
ID radiatore	A4 R01	A4 R02	A4 R03	A4 R04	A4 R05	A4 R06	A4 R07	A4 R08	A4 R09
Ubicazione	studio	tinello	bagno	cucina	letto 1	letto 2	pranzo	studio	ingresso
Matricola	31904400	31904373	31904387	31904386	31904372	31904388	31904371	31904390	31904384
Nr elementi	8	6	5	16	5	13	9	8	3
interasse, mm	600	800	200	600	600	600	600	800	800
h tot, mm	680	880	280	680	680	680	680	880	880
Profondità, mm	145	145	110	145	145	145	145	145	145
Larghezza, mm	445	335	400	890	275	720	500	445	175
Mozzo, mm	55	55		55	55	55	55	55	55
C, Wm <sup>3</sup>	16900	16900	24800	16900	16900	16900	16900	16900	16900
S, m <sup>2</sup>	0.93	0.94	0.37	1.67	0.65	1.39	1.02	1.17	0.61
V, m <sup>3</sup>	0.044	0.043	0.012	0.088	0.027	0.071	0.049	0.057	0.022
Q60, W	1034.0	1018.2	422.8	2006.1	662.6	1634.7	1154.1	1326.2	570.2
Tipo installazione	mensola	libero	mensola	mensola	mensola	mensola	mensola	mensola	libero
F	0.96	1	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1
Q60, W	992.6	1018.2	405.9	1925.8	636.1	1569.3	1108.0	1273.1	570.2
Valvola	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	Rame 12	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14				



**Figura 14: Planimetria AP\_4**

**Tabella 12: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_5**

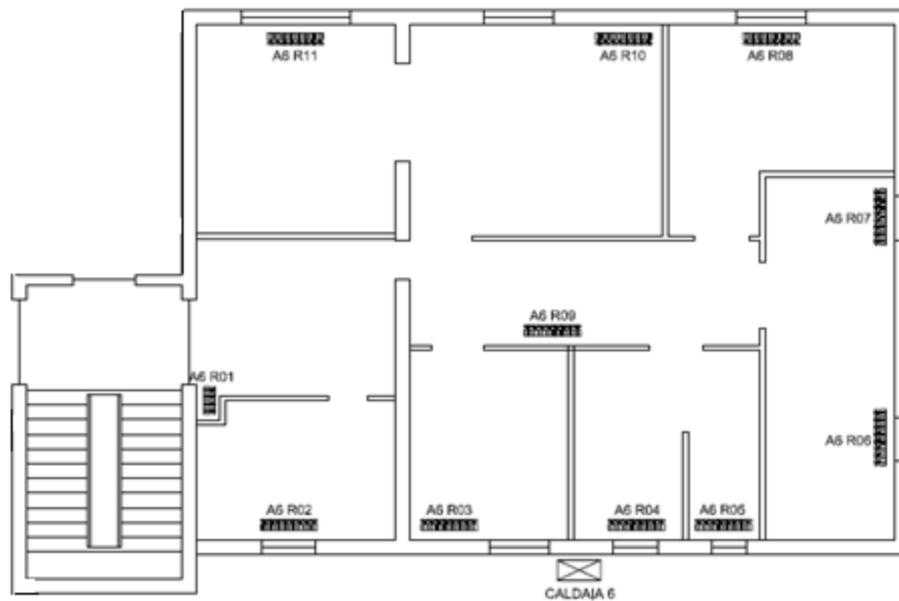
<b>ID radiatore</b>	A5 R01	A5 R02	A5 R03	A5 R04	A5 R05	A5 R06	A5 R07
<b>Ubicazione</b>	salotto	cucina	studio	letto	letto gr.	bagno	corridoio
<b>Matricola</b>	06993847	06986941	06993176	06986904	06993173	06986921	06993174
<b>Nr elementi</b>	14	11	10	10	11	7	8
<b>interasse, mm</b>	800	600	600	600	800	610	800
<b>h tot, mm</b>	885	685	685	685	885	685	885
<b>Profondità, mm</b>	145	145	145	145	145	145	145
<b>Larghezza, mm</b>	780	610	550	550	610	390	445
<b>Mozzo, mm</b>	55	55	55	55	55	55	55
<b>C, Wm<sup>3</sup></b>	16900	16900	16900	16900	16900	16900	16900
<b>S, m<sup>2</sup></b>	1.86	1.21	1.11	1.11	1.51	0.85	1.17
<b>V, m<sup>3</sup></b>	0.100	0.061	0.055	0.055	0.078	0.039	0.057
<b>Q60, W (nominale)</b>	2276.7	1404.3	1272.3	1272.3	1798.1	920.3	1333.5
<b>Tipo installazione</b>	mensola	mens.corta	mens.corta	mens.corta	mensola	mens.corta	mensola
<b>F</b>	0.96	0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.96
<b>Q60, W (corretto)</b>	2185.6	1376.2	1246.8	1246.8	1726.1	901.9	1280.2
<b>Valvola</b>	1/2"	3/8"	1/2"	1/2"	1/2"	3/8"	3/8"
	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 12	Rame 12



**Figura 15: Planimetria AP\_5**

**Tabella 13: Caratteristiche corpi scaldanti AP\_6**

ID radiatore	A6 R01	A6 R02	A6 R03	A6 R04	A6 R05	A6R06	A6 R07	A6 R08	A6 R09	A6 R10	A6 R11
Ubicazione	ingresso	studio	cucina	bagno 1	bagno 2	letto 1	letto 2	letto 3	corridoio	pranzo	salotto
Matricola	6984356	6984239	6984216	6993180	6984443	6984217	6984219	6984431	6984839	6986688	6986690
Nr elementi	4	10	4	4	-	10	8	9	6	11	14
interasse, mm	800	600	800	520	-	610	610	800	820	800	500
h tot, mm	885	685	885	566	135	685	685	885	870	885	585
Profondità, mm	145	145	145	95	60	145	145	145	95	145	145
Larghezza, mm	220	550	220	235	865	550	440	495	355	605	770
Mozzo, mm	55	55	55	-	-	55	55	55		55	55
C, Wm <sup>3</sup>	16900	16900	16900	20300	22500	16900	16900	16900	20300	16900	16900
S, m <sup>2</sup>	0.71	1.11	0.71	0.42	0.35	1.11	0.93	1.28	0.85	1.50	1.29
V, m <sup>3</sup>	0.028	0.055	0.028	0.013	0.007	0.055	0.044	0.064	0.029	0.078	0.065
Q60, W (nom.)	700.0	1272.3	700.0	387.8	268.7	1272.3	1030.3	1474.3	862.7	1784.0	1510.1
Installazione	nicchia + coprirad.	mensola corta	nicchia	mensola corta	mensola corta	mensola corta	mensola corta	nicchia + coprirad.	libero	nicchia + coprirad.	mensola
F	0.83	0.98	0.93	0.98	0.98	0.98	0.98	0.83	1	0.83	0.96
Q60, W (corretto)	581.0	1246.8	651.0	380.1	263.3	1246.8	1009.7	1223.6	862.7	1480.7	1449.7
Valvola	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 12	Rame 14	Rame 14	Rame 14	Rame 12	Rame 14	Rame 14



**Figura 16: Planimetria AP\_6**

### 3.3 Realizzazione del sistema di misura prototipale in campo

L'installazione dei sistemi di contabilizzazione investigati è stata effettuata nel periodo da settembre a dicembre 2015. Sui radiatori di ciascuna unità immobiliare sono state installate valvole di regolazione meccaniche e detentori nuovi di fabbrica. Sulle unità immobiliari del secondo e terzo piano sono state montate teste termostatiche elettroniche, in abbinamento con il sistema ITC-TC investigato montabili direttamente sulle valvole meccaniche. L'installazione dei gruppi valvole/detentore ha comportato lo svuotamento dei singoli impianti.

Le principali criticità connesse all'installazione sono state essenzialmente dovute alla modifica degli impianti idraulici (in particolare per l'installazione di HM e ITC-TC) ed alla installazione dei sistemi di comunicazione e concentrazione dati di differente architettura in un edificio con struttura in muratura nei primi due piani ed in cemento armato nel terzo. In particolare si segnalano: i) la difficoltà di intercettazione delle tubazioni di mandata e ritorno (che hanno comportato la necessità di lavori murari e impiantistici); ii) la difficoltà di garantire idonei tratti di tubazione rettilinea a monte e valle dei contatori diretti; iii) la difficoltà di collocazione delle valvole termostatiche (e.g. in nicchia o in presenza di copri-radiatori); iv) la resistenza degli utenti finali a collocare i ripartitori in posizione centrale sui radiatori per ragioni estetiche; v) la limitazione della copertura radio dei sistemi di telelettura, anche in presenza di un edificio con numero di piani limitato.

La fase di installazione è terminata il 21/12/2015 e successivamente si è provveduto ad avviare la sperimentazione. Nelle prime settimane sono stati riscontrati alcuni allarmi (e.g. fault misura della temperatura di mandata per contatore diretto, fault batteria su alcuni ripartitori). I problemi di avviamento del sistema sono stati risolti definitivamente nei primi giorni di febbraio 2016 e, pertanto, si può ragionevolmente considerare che la sperimentazione abbia avuto inizio il giorno 15/02/2016, ovvero quando tutti i sistemi investigati sono andati a regime. Tutte le letture sono state effettuate attraverso i relativi software di acquisizione e mediante la modalità walk-by, con cadenza circa settimanale.

#### Installazione gruppo valvola/detentore e teste termostatiche

Sui radiatori di ciascuna unità immobiliare investigata sono state installate valvole di regolazione meccaniche e detentori nuovi di fabbrica. Sulle unità immobiliari AP\_3, AP\_4, AP\_5 e AP\_6 sono state montate teste termostatiche elettroniche, in abbinamento con il sistema ITC-TC investigato (vedi Figura 17), montabili direttamente sulle valvole meccaniche. L'installazione dei gruppi valvola/detentore ha comportato lo svuotamento dei singoli impianti (vedi Figura 17).



a) AP\_1, AP\_2 (senza testa termostatica)



b) AP\_3, AP\_4, AP\_5 e AP\_6 (con testa termostatica)

**Figura 17: Installazione tipo valvola/detentore e testa termostatica**

### Installazione degli HM

Il montaggio degli HM per la misura puntuale dell'energia termica consumata da ciascuna unità immobiliare è stato effettuato conformemente alle istruzioni fornite dai fabbricanti. Particolare attenzione è stata a riguardo attribuita al rispetto dei tratti rettilinei a monte e valle del sensore di flusso ed al rispetto delle prescrizioni di installazione per i sensori di temperatura di mandata del fluido termovettore.

Come descritto in Tabella 5, negli AP\_1, AP\_2, AP\_3 e AP\_4 sono stati installati HM compatti, mentre negli AP\_5 e AP\_6 sono stati installati HM con sonde di temperatura e calcolatore separato (vedi Figura 18). Particolare attenzione in questo caso è stata prestata all'installazione delle sonde di temperatura (sempre in controflusso e con adeguata profondità di immersione), sia sulla mandata che sul ritorno.



a) HM AP\_1



b) HM AP\_3



e) HM AP\_5

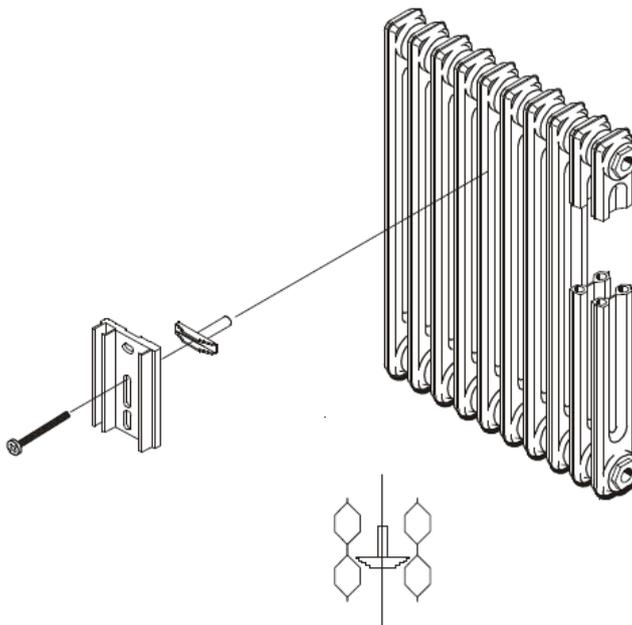


f) HM AP\_6

**Figura 18: Installazione HM investigati**

### Installazione degli HCA

Tutti i ripartitori investigati sono stati installati sui radiatori in posizione centrale e ad un'altezza pari a circa il 75% dell'altezza totale del radiatore, come prescritto dai singoli costruttori. L'installazione sul radiatore è avvenuta mediante gli specifici kit di installazione a piastra metallica forniti dai costruttori (vedi esempio in Figura 19) e nel rispetto delle istruzioni di montaggio ed installazione da essi fornite.



**Figura 19: Tipica Piastra di Installazione HCA investigati (AP\_3 e AP\_4)**

### Installazione del sistema ITC-TC

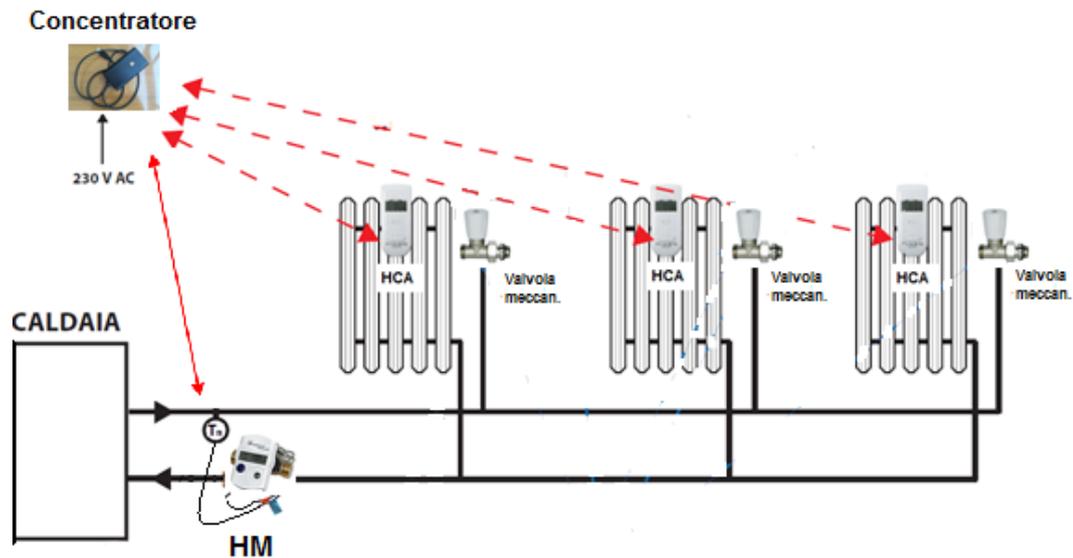
L'installazione e programmazione del sistema ITC-TC investigato è stata effettuata in conformità con le istruzioni del costruttore ed ha comportato, per ciascuna unità abitativa, l'installazione di specifici sensori di temperatura sulle tubazioni di mandata e ritorno delle caldaie (Figura 20).



**Figura 20: Installazione ITC-TC investigati (AP\_3, AP\_4, AP\_5 e AP\_6)**

Installazione e programmazione dei sistemi di comunicazione

In Figura 21 viene riportato lo schema di installazione e comunicazione degli AP\_1 e AP\_2 (I piano). Gli HCA ed HM comunicano i dati di misura al concentratore di piano. Le letture sono raccolte mediante sistema walk-by.



**Figura 21: Schema di installazione e comunicazione I piano (AP\_1 e AP\_2)**

In Figura 22 viene riportato lo schema di installazione e comunicazione degli AP\_3 e AP\_4 (II Piano):

1. Il sistema ITC-TC è controllato dall'unità centrale attraverso l'unità di controllo e comando. L'intera rete viene quindi gestita in modalità wireless mediante un telecomando programmabile per l'accensione/spengimento della caldaia e per la regolazione della temperatura nei diversi ambienti.
2. i ripartitori e i contatori di energia termica trasmettono in modalità Wireless M-Bus, EN 13757 e trasmettono i dati di misura al concentratore del costruttore B. Il suddetto concentratore consente l'acquisizione via radio (868 MHz) e la successiva archiviazione dei dati. Le letture sono raccolte mediante sistema walk-by.

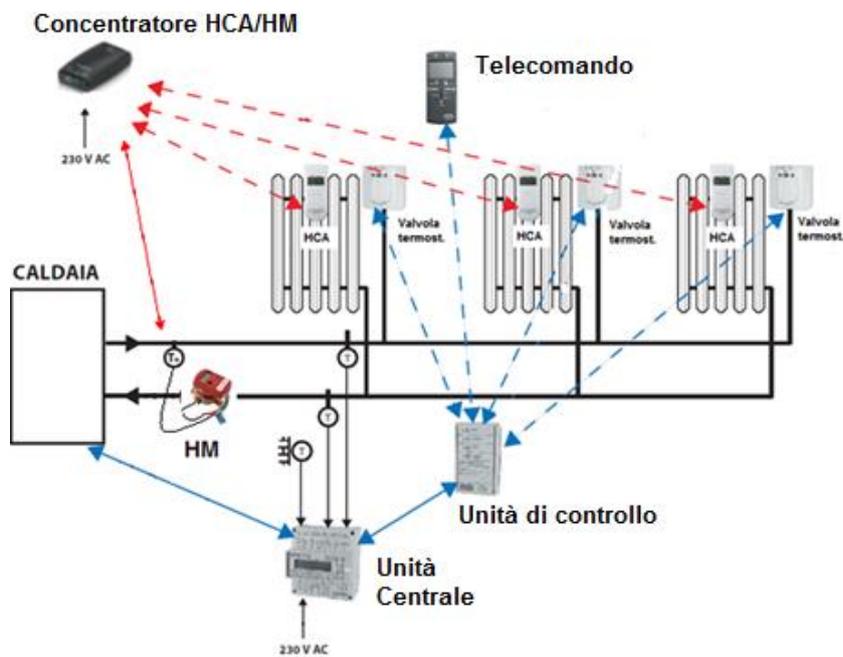


Figura 22: Schema di installazione e comunicazione II piano (AP\_3 e AP\_4)

In Figura 23 viene riportato lo schema di installazione e comunicazione degli AP\_5 e AP\_6 (III piano). Il sistema ITC-TC è controllato dall'unità centrale attraverso l'unità di controllo e comando. L'intera rete viene quindi gestita in modalità wireless mediante un telecomando programmabile per l'accensione/spengimento della caldaia e per la regolazione della temperatura nei diversi ambienti. Lo schema è identico a quello degli AP\_3 e AP\_4 ad eccezione della presenza del concentratore per ripartitori del costruttore C. HCA e HM sono del costruttore Ce comunicano direttamente con l'unità centrale. Gli HM sono costituiti da sottounità separate (sempre del costruttore C) come descritto in Tabella 5.

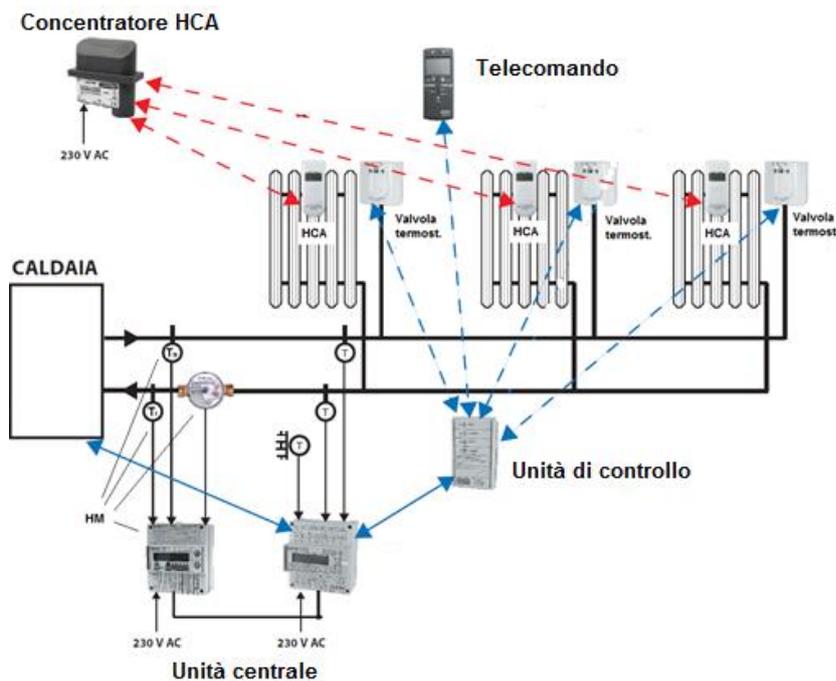


Figura 23: Schema di installazione e comunicazione III Piano (AP\_5 e AP\_6)

### 3.4 Confronto tra i metodi di ripartizione diretti ed indiretti

Da Tabella 14 a Tabella 16 vengono riportate le letture registrate dai sistemi investigati nei singoli appartamenti. Sono riportate unicamente le letture relative al periodo di validità della sperimentazione (dal 15-02-2016 al 15-04-2016).

**Tabella 14: Letture consumi energetici I Piano (AP\_1 e AP\_2)**

Letture Successive	gg	AP_1		AP_2	
		HM	HCA	HM	HCA
		Costr. A	Costr. D	Costr. A	Costr. D
		kWh	UR	kWh	UR
lunedì 15 febbraio 2016	1	4898	3735	16142	3503
mercoledì 17 febbraio 2016	2	0	0	0	0
domenica 21 febbraio 2016	4	0	0	0	0
lunedì 22 febbraio 2016	1	5262	4022	16449	3723
martedì 23 febbraio 2016	1	0	0	0	0
domenica 28 febbraio 2016	5	0	0	0	0
lunedì 29 febbraio 2016	1	5606	4291	16736	3929
domenica 6 marzo 2016	6	0	0	0	0
lunedì 7 marzo 2016	1	5971	4573	17066	4165
domenica 13 marzo 2016	6	0	0	0	0
lunedì 14 marzo 2016	1	6304	4819	17379	4379
domenica 20 marzo 2016	6	0	0	0	0
martedì 22 marzo 2016	2	6747	5160	17740	4631
domenica 27 marzo 2016	5	0	0	0	0
martedì 29 marzo 2016	2	7094	5445	18041	4855
domenica 3 aprile 2016	5	0	0	0	0
lunedì 4 aprile 2016	1	7184	5519	18114	4906
domenica 10 aprile 2016	6	0	0	0	0
venerdì 15 aprile 2016	5	7184	5519	18116	4906

**Tabella 15: Letture consumi energetici II Piano (AP\_3 e AP\_4)**

Letture Successive	gg	AP_3			AP_4		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. B	Costr. B	Costr. C	Costr. B	Costr. B	Costr. C
		kWh	UR	kWh	kWh	UR	kWh
lunedì 15 febbraio 2016	1	3760	1777	214	6732	912	227.2
mercoledì 17 febbraio 2016	2	0	0	298	0	0	257.8
domenica 21 febbraio 2016	4	0	0	441	0	0	332.9
lunedì 22 febbraio 2016	1	4226	2244	473	6914	1186	350.7
martedì 23 febbraio 2016	1	4266	2306	513	6942	1222	360.5
domenica 28 febbraio 2016	5	0	0	695	0	0	451.8
lunedì 29 febbraio 2016	1	4511	2636	734	7084	1340	472.2
domenica 6 marzo 2016	6	0	0	958	0	0	597.3
lunedì 7 marzo 2016	1	4860	3265	1037	7268	1691	620.4
domenica 13 marzo 2016	6	0	0	1284	0	0	762.3
lunedì 14 marzo 2016	1	5183	3777	1322	7496	1999	784.7
domenica 20 marzo 2016	6	0	0	1538	0	0	916.7
martedì 22 marzo 2016	2	5549	4369	1617	7700	2303	941.6
domenica 27 marzo 2016	5	0	0	1663	0	0	1015.7
martedì 29 marzo 2016	2	5650	4538	1663	7842	2529	1054.4
domenica 3 aprile 2016	5	0	0	1676	0	0	1071.9
lunedì 4 aprile 2016	1	5670	4574	1676	7892	2605	1072.0
domenica 10 aprile 2016	6	0	0	1677	0	0	1075.5
venerdì 15 aprile 2016	5	5670	4574	1677	7904	2621	1077.3

**Tabella 16: Letture consumi energetici III Piano (AP\_5 e AP\_6)**

Letture Successive	gg	AP_5			AP_6		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. C					
		kWh	UR	kWh	kWh	UR	kWh
lunedì 15 febbraio 2016	1	30	85	73	1030	4124	1102
mercoledì 17 febbraio 2016	2	0	85	73	0	4161	1158
domenica 21 febbraio 2016	4	80	0	92	1230	0	1255
lunedì 22 febbraio 2016	1	80	99	111	1230	4264	1283
martedì 23 febbraio 2016	1	0	123	111	0	4298	1309
domenica 28 febbraio 2016	5	130	0	141	1430	0	1437
lunedì 29 febbraio 2016	1	130	150	161	1430	4455	1465
domenica 6 marzo 2016	6	210	0	161	1630	0	1606
lunedì 7 marzo 2016	1	210	174	161	1630	4618	1636
domenica 13 marzo 2016	6	240	0	182	1940	0	1864
lunedì 14 marzo 2016	1	240	192	182	1940	4840	1890
domenica 20 marzo 2016	6	240	0	182	2120	0	2006
martedì 22 marzo 2016	2	240	192	182	2120	5017	2006
domenica 27 marzo 2016	5	240	0	182	2240	0	2112
martedì 29 marzo 2016	2	240	198	182	2290	5144	2148
domenica 3 aprile 2016	5	240	0	182	2290	0	2151
lunedì 4 aprile 2016	1	240	198	182	2290	5155	2152
domenica 10 aprile 2016	6	240	0	182	2290	0	2155
venerdì 15 aprile 2016	5	240	198	182	2290	5155	2158

### 3.4 Analisi dei consumi e dei criteri di ripartizione dei costi energetici

Come precedentemente descritto, l'edificio investigato presenta unità immobiliari con impianti di riscaldamento autonomi serviti da caldaia. Pertanto, ai fini della valutazione delle prestazioni metrologiche dei diversi sistemi investigati, si è considerato come valore di riferimento il dato di consumo energetico restituito dai singoli HM installati e sono stati stimati gli scostamenti dei sistemi indiretti rispetto alla misura diretta. I risultati del confronto sono riportati di seguito (da Tabella 17 a Tabella 19).

**Tabella 17: Consumi intero periodo e settimanali I Piano (AP\_1 e AP\_2)**

Intero periodo 15 feb - 15 apr	gg	AP_1		AP_2	
		HM	HCA	HM	HCA
		Costr. A	Costr. D	Costr. A	Costr. D
		kWh	UR	kWh	UR
lunedì 15 febbraio 2016	inizio	4898	3735	16142	3503
venerdì 15 aprile 2016	fine	7184	5519	18116	4906
periodo investigato	60	2286	1784	1974	1403
	kWh/UR		1.28		1.41

Consumi settimanali	gg	AP_1		AP_2	
		HM	HCA	HM	HCA
		Costr. A	Costr. D	Costr. A	Costr. D
		kWh	kWh	kWh	kWh
lunedì 22 febbraio 2016	7	364	368	307	310
lunedì 29 febbraio 2016	7	344	345	287	290
lunedì 7 marzo 2016	7	365	361	330	332
lunedì 14 marzo 2016	7	333	315	313	301
martedì 22 marzo 2016	8	443	437	361	355
martedì 29 marzo 2016	7	347	365	301	315
lunedì 4 aprile 2016	6	90	95	73	72
venerdì 15 aprile 2016	11	0	0	2	0

**Tabella 18: Consumi intero periodo e settimanali II Piano (AP\_3 e AP\_4)**

Intero periodo 15 feb - 15 apr	gg	AP_3			AP_4		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. B	Costr. B	Costr. C	Costr. B	Costr. B	Costr. C
		kWh	UR	kWh	kWh	UR	kWh
lunedì 15 febbraio 2016	inizio	3760	1777	214	6732	912	227
venerdì 15 aprile 2016	fine	5670	4574	1677	7904	2621	1077
periodo investigato	60	1910	2797	1463	1172	1709	850
	kWh/UR		0.68			0.69	

Consumi (circa) settimanali	gg	AP_3			AP_4		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. B	Costr. B	Costr. C	Costr. B	Costr. B	Costr. C
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
lunedì 22 febbraio 2016	7	466	319	259	182	188	124
lunedì 29 febbraio 2016	7	285	268	261	170	106	121
lunedì 7 marzo 2016	7	349	430	303	184	241	148
lunedì 14 marzo 2016	7	323	350	285	228	211	164
martedì 22 marzo 2016	8	366	404	295	204	208	157
martedì 29 marzo 2016	7	101	115	46	142	155	113
lunedì 4 aprile 2016	6	20	25	14	50	52	18
venerdì 15 aprile 2016	11	0	0	1	12	11	5

**Tabella 19: Consumi intero periodo e settimanali III Piano (AP\_5 e AP\_6)**

Intero periodo 15 feb - 15 apr	gg	AP_5			AP_6		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. C					
		kWh	UR	kWh	kWh	UR	kWh
lunedì 15 febbraio 2016	inizio	30	85	73	1030	4124	1102
venerdì 15 aprile 2016	fine	240	198	182	2290	5155	2158
periodo investigato	60	210	113	110	1260	1031	1056
	kWh/UR		1.85			1.22	

Consumi (circa) settimanali	gg	AP_5			AP_6		
		HM	HCA	ITC-T	HM	HCA	ITC-T
		Costr. C					
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
lunedì 22 febbraio 2016	7	50	27	39	200	171	181
lunedì 29 febbraio 2016	7	50	95	50	200	234	182
lunedì 7 marzo 2016	7	80	44	0	200	199	172
lunedì 14 marzo 2016	7	30	33	21	310	272	254
martedì 22 marzo 2016	8	0	0	0	180	217	116
martedì 29 marzo 2016	7	0	11	0	170	155	141
lunedì 4 aprile 2016	6	0	0	0	0	13	4
venerdì 15 aprile 2016	11	0	0	0	0	0	6

Dall'analisi dei dati riportati nella successiva Tabella 20 relativi agli scostamenti assoluti riscontrati, si può considerare quanto segue:

- per quanto riguarda i sistemi indiretti con HCA, considerato che questi forniscono il conteggio di unità di ripartizione adimensionali (UR), sulla base del consumo energetico nel periodo investigato (dal 15-02-2016 al 15-04-2016) è stato stimato il peso di ciascuna UR in termini energetici, ovvero il rapporto kWh/UR; è così possibile effettuare il confronto tra HM (valore riferimento) e sistema indiretto HCA in valori energetici. Nei sei appartamenti investigati l'errore relativo medio dei sistemi indiretti HCA rispetto ai corrispondenti HM è risultato sempre inferiore al 5.9%;
- per quanto riguarda i sistemi indiretti con ITC-TC, sono stati riscontrati scostamenti sempre negativi in termini assoluti (i.e. sottostima dei consumi energetici) mediamente elevati (in particolare nell'AP\_5 dove sono stati registrati consumi molto bassi). Si deve a tale riguardo sottolineare che questo dato è relativo alla misura assoluta dei consumi energetici dei singoli sistemi ITC rispetto al corrispondente HM e non alla ripartizione dei consumi. Il dato in questione, inoltre, risente dei consumi particolarmente bassi registrati in alcuni degli appartamenti investigati (i.e. quelli del piano intermedio e quelli di un appartamento occupato solo per un periodo molto breve).

**Tabella 20: Analisi degli errori di misura nelle diverse unità immobiliari investigate (scostamenti assoluti)**

Errori	gg	AP_1		AP_2		AP_3		AP_4		AP_5		AP_6	
		HCA-HM	HCA-HM	HCA-HM	ITC-HM	HCA-HM	ITC-HM	HCA-HM	ITC-HM	HCA-HM	ITC-HM	HCA-HM	ITC-HM
lun 22 feb 2016	7	1.0%	0.8%	-31.6%	-44.4%	3.2%	-32.1%	-46.8%	-22.9%	-14.6%	-9.7%		
lun 29 feb 2016	7	0.2%	1.0%	-6.1%	-8.6%	-37.9%	-28.5%	90.3%	0.2%	17.2%	-9.0%		
lun 7 mar 2016	7	-1.0%	0.6%	23.1%	-13.2%	30.8%	-19.4%	-44.5%	-100.0%	-0.6%	-14.2%		
lun 14 mar 2016	7	-5.3%	-3.8%	8.2%	-11.7%	-7.4%	-28.0%	8.5%	-30.3%	-12.3%	-18.2%		
mar 22 mar 2016	8	-1.4%	-1.8%	10.5%	-19.4%	2.2%	-23.1%			20.3%	-35.3%		
mar 29 mar 2016	7	5.2%	4.7%	14.3%	-54.8%	9.1%	-20.6%			-8.8%	-16.8%		
lun 4 apr 2016	6	5.4%	-1.7%	22.9%	-31.4%	4.2%	-64.7%						
ven 15 apr 2016	11					-8.6%	-56.6%						
<i>Errore sul Totale</i>					-23.4%		-27.5%		-47.8%		-16.2%		
<i>Errore medio</i>		0.6%	0.0%	5.9%		-0.5%		1.9%		0.2%			

### 3.5 Criteri di ripartizione dei costi energetici ed analisi dei fattori correttivi

Gli autori hanno infine effettuato il confronto dei sistemi indiretti utilizzati come strumenti di ripartizione dei consumi energetici nell'intero edificio. A tale riguardo si deve considerare che la sperimentazione è stata effettuata: i) con HM ed HCA dello stesso costruttore su ciascun piano e che, quindi, i dati risultano omogenei per coppie di appartamenti; ii) con il sistema ITC-TC unicamente su 4 appartamenti (quelli del secondo e terzo piano).

A tale scopo viene riportata: i) in Tabella 21 la ripartizione per piano (sistemi omogenei), ii) in Tabella 22 la ripartizione per II e III piano (sistemi poco omogenei) e iii) in Tabella 23 la ripartizione per l'intero edificio (sistemi non omogenei).

**Tabella 21: Analisi per piano della ripartizione dei consumi (sistemi omogenei)**

Piano 1	HM		HCA		HCA-HM
	kWh	%	UR	%	%
AP_1+AP-2	4260	100.0%	3187	100.0%	-
AP_1	2286	53.7%	1784	56.0%	2.3%
AP_2	1974	46.3%	1403	44.0%	-2.3%

Piano 2	HM		HCA		HCA-HM
	kWh	%	UR	%	%
AP_3+AP-4	3082	100.0%	4506	100.0%	-
AP_3	1910	62.0%	2797	62.1%	0.1%
AP_4	1172	38.0%	1709	37.9%	-0.1%

Piano 3	HM		HCA		HCA-HM
	kWh	%	UR	%	%
AP_5+AP-6	1470	100.0%	1144	100.0%	-
AP_5	210	14.3%	113	9.9%	-4.4%
AP_6	1260	85.7%	1031	90.1%	4.4%

**Tabella 22: Analisi della ripartizione dei consumi II e III Piano (sistemi poco omogenei)**

	HM		HCA		ITC		HCA-HM	ITC-HM
	kWh	%	UR	%	kWh	%	%	%
ΣAP	4552	100.0%	5650	100.0%	3478	100.0%	-	-
AP_3	1910	42.0%	2797	49.5%	1463	42.0%	7.5%	0.1%
AP_4	1172	25.7%	1709	30.2%	850	24.4%	4.5%	-1.3%
AP_5	210	4.6%	113	2.0%	110	3.2%	-2.6%	-1.5%
AP_6	1260	27.7%	1031	18.2%	1056	30.4%	-9.4%	2.7%

**Tabella 23: Analisi della ripartizione dei consumi per l'intero edificio (sistemi non omogenei)**

	HM		HCA		HCA-HM
	kWh	%	UR	%	%
ΣAP	8812	100.0%	8837	100.0%	-
AP_1	2286	25.9%	1784	20.2%	-5.8%
AP_2	1974	22.4%	1403	15.9%	-6.5%
AP_3	1910	21.7%	2797	31.7%	10.0%
AP_4	1172	13.3%	1709	19.3%	6.0%
AP_5	210	2.4%	113	1.3%	-1.1%
AP_6	1260	14.3%	1031	11.7%	-2.6%

Si può quindi considerare che:

- lo scostamento tra HM e HCA:
  - a. considerando i piani omogenei, è pari a 2.3% (appartamenti del primo piano), 0.1% (appartamenti del secondo piano) e 4.4 % (appartamenti del terzo piano, di cui uno minimamente occupato), rispettivamente (vedi Tabella 21);
  - b. considerando l'intero edificio (quindi utilizzando dati di misura non omogenei perché provenienti da HCA e HM di 3 costruttori diversi), è significativamente elevato e variabile tra -6.5% (AP\_2) e +10% (AP\_3), come risulta in
  - c. considerando gli appartamenti del secondo e terzo piano (quindi dati non pienamente omogenei perché provenienti da HCA e HM di 2 costruttori diversi), risulta mediamente elevato e variabile tra -9.4% (AP\_6) e +7.5% (AP\_3), come risulta in Tabella 22;
- lo scostamento tra HM e ITC-TC nei 4 appartamenti del secondo e terzo piano è variabile tra -1.5% e +2.7% e, mediamente, gli appartamenti con consumi inferiori risultano avvantaggiati nella ripartizione, come risulta in Tabella 22.

### 3.6 Analisi costi-benefici

Per l'analisi costi-benefici dell'edificio investigato si è utilizzato il SW sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca (vedi capitolo 2 del presente rapporto). A tale riguardo:

- ✓ per i costi di acquisto, installazione e gestione annuale dei sistemi diretti HM sono stati utilizzati i costi standard AEEGSI [30];
- ✓ per i costi di acquisto dei sistemi indiretti HCA sono stati utilizzati i costi puntuali come risultanti dai documenti dei fornitori coinvolti nella sperimentazione;
- ✓ per i costi di installazione e di programmazione dei dispositivi dei sistemi indiretti HCA è stata fatta una valutazione di massima in relazione alla manodopera impiegata (personale DICEM) ed ai componenti acquistati; per la particolare sperimentazione effettuata (impianti autonomi) non è stato considerato il costo di acquisto e di installazione di eventuali pompe di ricircolo;
- ✓ i costi di gestione annuali dei sistemi indiretti con HCA sono stati considerati pari a 3 €/anno per corpo scaldante (fatturazione annuale);
- ✓ il fabbisogno di energia primaria medio dell'edificio è stato stimato dagli autori pari a  $EP_H=160$  kWh/m<sup>2</sup> in relazione a dati puntuali disponibili per alcuni degli appartamenti investigati ed a dati storici dell'edificio;

- ✓ gli altri dati utili dell'edificio investigato sono stati ricavati da valori puntuali (e.g. consumi degli anni precedenti) e da interviste con i proprietari.

Per l'analisi dei benefici, invece, non sono al momento disponibili i dati puntuali di consumo (bollette energetiche) aggiornati al termine della stagione invernale oggetto dell'analisi, che consentiranno, inoltre, l'analisi della propensione al risparmio nelle diverse condizioni di utilizzo dei sistemi di ripartizione e dei risparmi energetici conseguibili.

In Figura 24 si riporta la descrizione dell'edificio investigato, con i dati di ingresso necessari per la successiva valutazione dei costi-benefici.



DESCRIZIONE EDIFICIO

Ubicazione	Via Varrone, 6
Comune	Cassino (Fr)
Età dell'edificio	1939-1959
Uso prevalente dell'edificio	Residenziale
Numero appartamenti totali	6
Numero corpi scaldanti per appartamento	9
Numero totale di corpi scaldanti	54
Numero piani	4
Numero Edifici	1
Superficie Totale utile edificio [m2]	780
Superficie media unità immobiliare [m2]	130
Energia primaria riferita alla superficie utile (Asset Rating) , Eph [kWh/m2 anno]	160
Gradi Giorno	1164
Zona climatica	C
Periodo di utilizzo riscaldamento	15 novembre-31 marzo
Classe Energetica	G
Numero medio persone per appartamento	4
Consumo medio combustibile (u.c./anno)	13000
Tipo Combustibile	Gas Naturale [kWh/m3]
Potere Calorifero Inferiore, PCI (kWh/u.c.)	8.7
Energia primaria riferita alla superficie utile (Operational Rating), Eph [kWh/m2 anno]	145.0
Fattore d'uso, fx,uso	0.91
Rapporto apporti gratuiti/dispersioni,γ	0.2
Costante di tempo dell'edificio, τ [h]	8

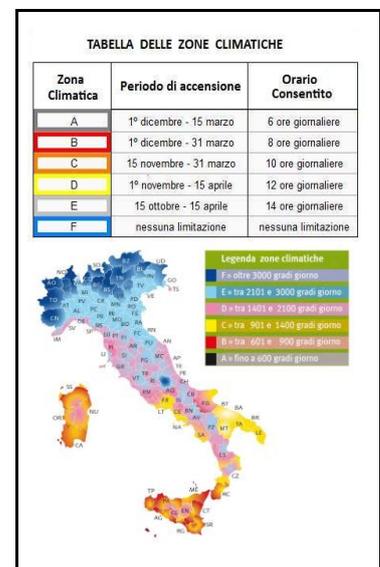


Figura 24 – Descrizione dell'edificio investigato

In Figura 25 viene riportata la scheda di fattibilità tecnica, nella quale sono stati riportati in maniera sintetica gli interventi programmati ed effettuati nell'ambito della sperimentazione.

**ENEA** ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE

DESCRIZIONE SISTEMA CONTABILIZZAZIONE					
Impianto distribuzione e termoregolazione		Esistente	Nota	da Realizzare	Nota
Q1	Tipologia di impianto di distribuzione	orizzontale			
Q2		Acqua calda a bassa Temperatura (<90°C)			
Q3	Stato di isolamento della distribuzione orizzontale corrente a soffitto del piano cantinato	Isolamento inesistente o gravemente deteriorato	Non richiesto		Non richiesto
Q4	Tipologia di impianto orizzontale	Impianto a distribuzione orizzontale con collettori complanari o monotubo			
Q5	E' prevista l'installazione di valvole termostatiche?			Si	
Q6	Quale è il sistema di termoregolazione?	Solo zona con regolazione		Climatica + ambiente con regolazione	
Q7	Quali sono le caratteristiche del sistema di termoregolazione?	On off		Nessuno	
Q8					
Q9	Esiste già un sistema di contabilizzazione diverso da HM o HCA?	Si	Contatore gas		
HM		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Sono già installati contatori individuali HM?	No			
Q2	Si vogliono installare dei nuovi contatori individuali HM?	Si			
Q3	Quale è la portata permanente di ciascun HM?	qp ≤ 3 m <sup>3</sup> /h	Non richiesto		
Q4	Sono presenti delle cassette in cui sono facilmente rintracciabile le tubature di ingresso e uscita?	No	Non richiesto	No	
Q5	Esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di distribuzione della mandata e ritorno di ciascun appartamento?	Si	Non richiesto	No	
Q6	Esiste un tracciato del lay out di impianto ed è intercettabile in almeno un punto la linea di distribuzione?	Si	Non richiesto	No	
Q7	In prossimità della cassetta di installazione c'è una lunghezza di almeno 600 mm (in modo da installare il contatore di calore in accordo alla normativa tecnica)?	No	Non richiesto	Si	Necessaria tubazione indisturbata
Q8	Sono installate delle valvole di isolamento che permettono di isolare completamente mandata e ritorno dell'impianto?	No	Non richiesto	No	
HCA		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Sono già installati dei ripartitori di calore HCA?	No			
Q2	Si vogliono installare dei ripartitori di calore HCA?	Si	Non richiesto		
Q3	Quale tipo di corpo scaldante viene utilizzato?	Radiatori	Non richiesto		
Q4	Come sono installati i radiatori	sotto mensola	Non richiesto		
		Esistenti	Nota	da Installare	Nota
Q1	Le murature attenuano la trasmissione del segnale wireless?	Si			
Q2	feedback	nessuno		in home display centralizzato	
Q3	Ci sono dei concentratori/ripetitori ?	No		Si	
Q4	Numero dei concentratori/ripetitori ?			1	

Figura 25 – Scheda di valutazione della fattibilità tecnica dei Sistemi diretti (HM) ed indiretti (HCA)

Nella successiva Figura 26 si riporta l’analisi dei costi CAPEX ed OPEX relativi all’acquisto ed installazione dei sistemi di contabilizzazione diretta con HM. Come detto, laddove disponibili, i costi indicati sono quelli standard AEEGSI [30]. In assenza di costi standard sono stati riportati i costi puntuali di acquisto/installazione relativi alla sperimentazione. A tale riguardo è stata considerata l’aliquota IVA 10% per acquisto ed installazione dei sistemi e del 22% per il costo del progetto del sistema e della gestione annuale [19].

 <b>ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE</b> 			
Analisi Costo Sistema diretto con HM individuali			
Descrizione costi base	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Contatore individuale HM, €/APP	€ 198.00	6	€ 1,188.00
Installazione <sup>1</sup> contatore HM, €/APP	€ 60.50	6	€ 363.00
Progetto sistema contabilizzazione (incluso APE), €/APP	€ 122.00	6	€ 732.00
Gestione annuale <sup>2</sup> contatore HM, €/APP	€ 12.20	6	€ 73.20
Descrizione costi aggiuntivi apparsi	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Sistema Centrale di Acquisizione (SAD), €/Edif	€ 638.00	1	€ 638.00
Eventuali concentratori/ripetitori, €/unità	€ 36.58	1	€ 29.26
Valvola termostatica, €/CS	€ 44.00	54	€ 2,376.00
Pompa di ricircolo, €/Edif	€ 110.00		€ 0.00
Descrizione costi aggiuntivi installazione	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Costo Cassetta con valvole di isolamento, €/APP	€ 44.00	6	€ 264.00
Raddrizzatore di flusso, €/APP	€ 44.00	6	€ 264.00
Traccia tubazioni e lavori di ripristino, €/APP	€ 165.00	6	€ 990.00
Installazione Pompa di ricircolo, €/Edificio	€ 220.00		€ 0.00
Descrizione costi totali	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
CAPEX	€ 1,140.71	6	€ 6,844.26
OPEX	€ 12.20	6	€ 73.20

Figura 26 – Analisi dei costi dei sistemi indiretti (HM)

Nella successiva Figura 27 si riporta l’analisi dei costi CAPEX ed OPEX relativi all’acquisto ed installazione dei sistemi di contabilizzazione indiretta con HCA. In questo caso, non essendo disponibili i costi standard AEEGSI [30], sono stati utilizzati i costi puntuali di acquisto/installazione relativi alla sperimentazione. A tale riguardo è stata considerata l’aliquota IVA 10% per acquisto ed installazione dei sistemi e del 22% per il costo del progetto del sistema e della gestione annuale [19].

 <b>ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE</b> 			
<b>Sistema diretto con HCA</b>			
Descrizione costi base	Costo Individuale, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Ripartitore di calore (incluso costi install), €/CS	€ 27.50	54	€ 1,485.00
Gruppo valvola/detentore/testa termostatica, €/CS	€ 44.00	54	€ 2,376.00
Pompa di ricircolo, €/APP		6	€ 0.00
Installazione Pompa di ricircolo, €/Ed		1	€ 0.00
Progetto sistema contabilizzazione, incluso APE, €/APP	€ 122.00	6	€ 732.00
Costi di gestione, €/CS/anno	€ 3.66	54	€ 197.64
Descrizione costi aggiuntivi apparati	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
Sistema Centrale di Acquisizione (SAD), €/Ed	€ 638.00	1	€ 638.00
Eventuali concentratori/ripetitori, €/un	€ 198.00	1	€ 198.00
Descrizione costi totali	Costo unitario, €	Numero Unità	Costo Totale, €
CAPEX	€ 904.83	6	€ 5,429.00
OPEX	€ 32.94	6	€ 197.64

Figura 27 – Analisi dei costi dei sistemi indiretti (HCA)

Nella successiva Figura 28 viene riportata l'analisi del beneficio atteso conseguente all'installazione dei sistemi di termoregolazione e contabilizzazione. Dall'analisi dei dati puntuali dell'edificio e dalle caratteristiche dell'intervento realizzato (contabilizzazione e termoregolazione) si stima un beneficio atteso pari al 12.5%.

 <b>ANALISI TECNICA ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE</b> 					
<b>Benefici dei sistemi di contabilizzazione</b>					
Beneficio Contabilizzazione	Beneficio esistente		Beneficio atteso		Incremento beneficio
	Tipo	Valore	Tipo	Valore	
<b>Beneficio Base</b>					
Sistema di contabilizzazione		5%		10%	5%
Criterio ripartizione (Contributo Involontario)	10%	-0.5%	10%	-1.00%	-0.5%
Consapevolezza (feedback)	nessuno	0%	nessuno	0%	0%
Classe Energetica			G	3%	3%
Fascia Climatica			C	1%	1%
<b>Beneficio Termoregolazione</b>					
Tipologia sistema di regolazione (rendimento)	93%	0%	97%	4%	4%
<b>Benefici Totale</b>		5%		17%	<b>12.5%</b>

Figura 28 – Analisi dei benefici attesi per l'edificio investigato

Nelle successive Figura 29 e Figura 30 si riportano i risultati dell’analisi economica rispettivamente per sistema diretto (HM) ed indiretto (HCA).

Dall’analisi effettuata si riscontra che, assunto un beneficio atteso pari a 12.5%, entrambi i sistemi presentano valore positivo del VAN dopo un periodo di 10 anni. Il ritorno dell’investimento avviene infatti dopo 8 anni per i sistemi diretti (HM) e dopo 7 anni per i sistemi indiretti (HCA). Gli autori hanno inoltre stimato un beneficio minimo da conseguire pari al 10% per i sistemi diretti (HM) e 9% per i sistemi indiretti (HCA) per riscontrare un VAN strettamente positivo dopo un periodo di 10 anni. Gli autori hanno infine considerato il caso in cui i proprietari abbiano accesso alla detrazione fiscale del 50% di cui alla Legge n. 208 del 28 dicembre 2015, come anche suggerito da AEEGSI [19]. In questo caso il ritorno economico dell’investimento è maggiore e, in particolare: i) per i sistemi diretti (HM) il ritorno dell’investimento si ottiene dopo 6 anni; ii) per i sistemi indiretti (HCA) il ritorno dell’investimento si ottiene dopo 5 anni.

Questi risultati risultano congruenti con la stima di AEEGSI, che ha individuato il valore di  $EP_{H,lim}=155$  kWh/m<sup>2</sup> per la classe di edifici obbligati all’installazione dei sistemi di contabilizzazione [19].

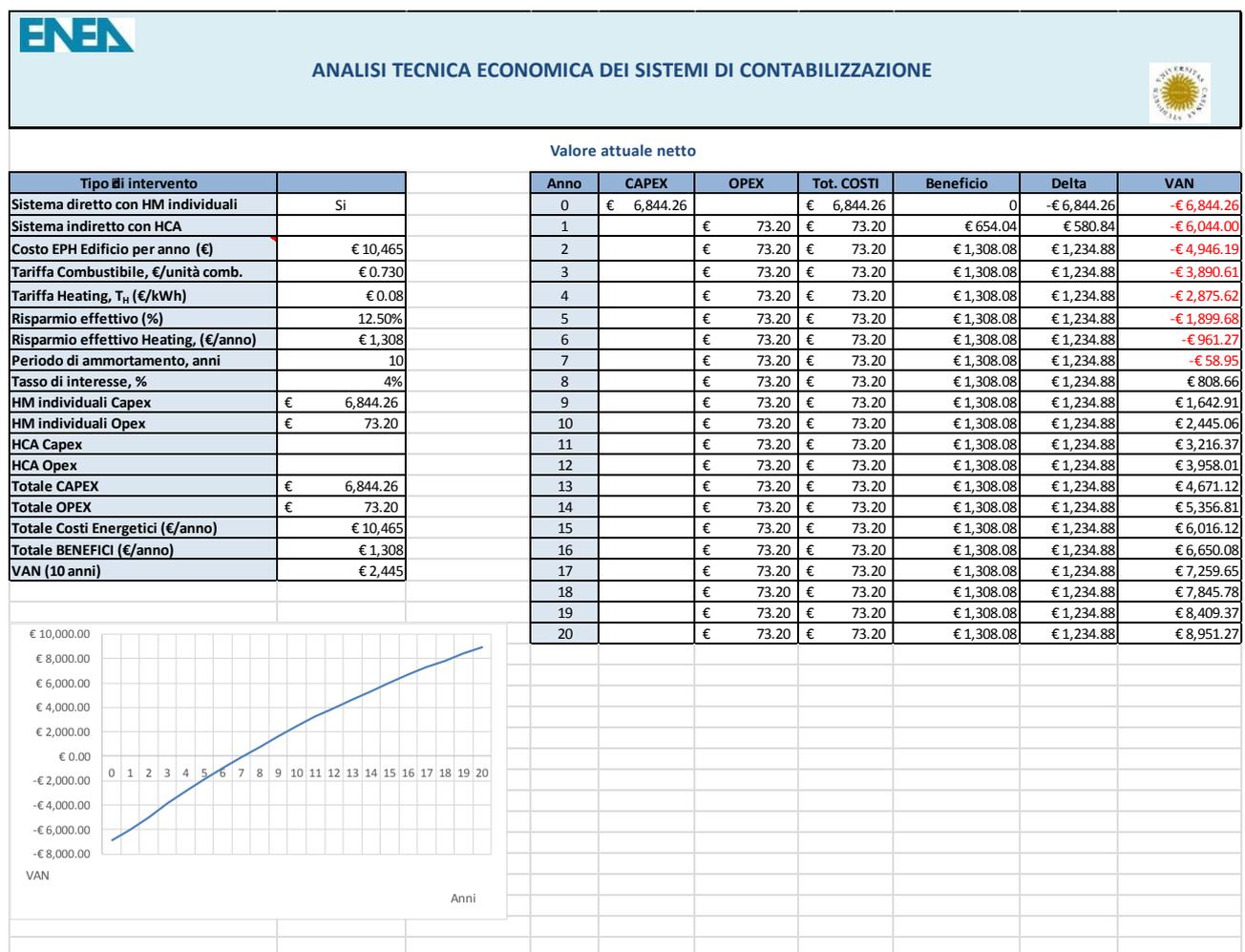


Figura 29 – Risultato dell’analisi costi-benefici per sistema diretto (HM)

Valore attuale netto

Tipo di intervento		Anno	CAPEX	OPEX	Tot. COSTI	Beneficio	Delta	VAN
Sistema diretto con HM individuali		0	€ 5,429.00		€ 5,429.00	0	-€ 5,429.00	-€ 5,429.00
Sistema indiretto con HCA	Si	1		€ 197.64	€ 197.64	€ 654.04	€ 456.40	-€ 4,798.22
Costo EPH Edificio per anno (€)	€ 10,465	2		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	-€ 3,811.04
Tariffa Combustibile, €/unità comb.	€ 0.730	3		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	-€ 2,861.83
Tariffa Heating, T <sub>H</sub> (€/kWh)	€ 0.08	4		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	-€ 1,949.13
Risparmio effettivo (%)	12.50%	5		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	-€ 1,071.53
Risparmio effettivo Heating, (€/anno)	€ 1,308	6		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	-€ 227.68
Periodo di ammortamento, anni	10	7		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 583.71
Tasso di interesse, %	4%	8		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 1,363.89
HM individuali Capex		9		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 2,114.07
HM individuali Opex		10		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 2,835.39
HCA Capex	€ 5,429.00	11		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 3,528.97
HCA Opex	€ 197.64	12		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 4,195.87
Totale CAPEX	€ 5,429.00	13		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 4,837.13
Totale OPEX	€ 197.64	14		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 5,453.72
Totale Costi Energetici (€/anno)	€ 10,465	15		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 6,046.59
Totale BENEFICI (€/anno)	€ 1,308	16		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 6,616.66
VAN (10 anni)	€ 2,835	17		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 7,164.81
		18		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 7,691.87
		19		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 8,198.67
		20		€ 197.64	€ 197.64	€ 1,308.08	€ 1,110.44	€ 8,685.97

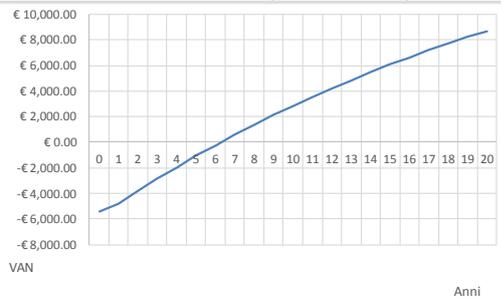


Figura 30 – Risultato dell’analisi costi-benefici per sistema indiretto (HCA)

## 4 Conclusioni

Gli studi effettuati nell'ambito della presente ricerca hanno reso possibile:

- i) la definizione di una metodologia per l'analisi dei costi-benefici connessi alla installazione dei sistemi diretti ed indiretti di contabilizzazione dell'energia termica;
- ii) la valutazione dei risultati del confronto di diversi sistemi di contabilizzazione diretti ed indiretti in campo su un edificio reale.

In particolare, la metodologia proposta per l'analisi dei costi-benefici consente una analisi differenziata per ciascuna tipologia di utenza sia utilizzando le condizioni standard che quelle effettive di consumo. Nell'ambito delle attività di ricerca gli autori hanno progettato e sviluppato un SW di calcolo, basato su una semplice interfaccia utente Excel che consente al professionista abilitato di effettuare una analisi tecnico-economica univoca facendo riferimento ai costi standard proposti dall'AEEGSI.

Il SW di calcolo sviluppato è stato sperimentato sull'edificio investigato per la sperimentazione in campo dei sistemi diretti ed indiretti di contabilizzazione. Dall'analisi effettuata si riscontra che, assunto un beneficio atteso pari a 12.5%, sia i sistemi diretti che quelli indiretti presentano un valore positivo del VAN dopo un periodo di 10 anni. Il ritorno dell'investimento avviene infatti dopo 8 anni per i sistemi diretti (HM) e dopo 7 anni per i sistemi indiretti (HCA). I risultati ottenuti in termini di costi-benefici risultano congruenti con la stima di AEEGSI, che ha individuato il valore di  $EP_{H,lim}=155 \text{ kWh/m}^2$  per la classe di edifici obbligati all'installazione dei sistemi di contabilizzazione.

Le valutazioni economiche effettuate, sia per gli HM che per gli HCA, mostrano che:

- al diminuire del beneficio atteso diminuisce il valore del fabbisogno energetico dell'edificio per il quale l'intervento risulta efficiente economicamente;
- analogamente al diminuire del fabbisogno energetico diminuisce l'efficienza economica dell'investimento (che risulta sempre economicamente non conveniente per valori del fabbisogno  $EPH < 50 \text{ kWh/m}^2$ );
- Il valore del fabbisogno energetico limite oltre il quale i sistemi di contabilizzazione risultano efficienti economicamente dipende dal numero di appartamenti, soprattutto negli edifici di piccole dimensioni.

Per quanto riguarda invece il confronto sperimentale in campo, sebbene esso sia stato limitato solo ad una parte della stagione di riscaldamento, i risultati ottenuti hanno consentito di evidenziare le principali problematiche relative all'installazione ed all'esercizio dei sistemi diretti ed indiretti di contabilizzazione. Le principali criticità di installazione sono state essenzialmente dovute alla modifica degli impianti idraulici (in particolare per l'installazione di HM e ITC-TC) ed alla installazione dei sistemi di comunicazione e concentrazione dati. In particolare si segnalano: i) la difficoltà di intercettazione delle tubazioni di mandata e ritorno (che hanno comportato la necessità di lavori murari e impiantistici); ii) la difficoltà di garantire idonei tratti di tubazione rettilinea a monte e valle dei contatori diretti; iii) la difficoltà di collocazione delle valvole termostatiche (e.g. in nicchia o in presenza di copri-radiatori); iv) la resistenza degli utenti finali a collocare i ripartitori in posizione centrale sui radiatori per ragioni estetiche; v) la limitazione della copertura radio dei sistemi di telelettura, anche in presenza di un edificio con numero di piani limitato.

Dal punto di vista della ripartizione dei consumi, la sperimentazione in campo ha mostrato scostamenti contenuti dei sistemi indiretti investigati (HCA e ITC-TC) rispetto al sistema diretto, posto come riferimento; in particolare: i) lo scostamento relativo tra HM e HCA varia fino al 4.4% se si considerano piani omogenei per costruttori e fino al 10% per sistemi mediamente omogenei o non omogenei; ii) lo scostamento tra HM e ITC-TC varia fino al 2.7% e, mediamente, gli appartamenti con consumi inferiori risultano avvantaggiati nella ripartizione. Dai risultati ottenuti emerge chiaramente che la ripartizione con sistemi indiretti risulta accurata in presenza di sistemi omogenei per costruttore e installazione e che l'accuratezza dipende anche dalla quantità di energia consumata.

Il sistema di telelettura consente ulteriori interessanti sviluppi quali: i) l'integrazione dei sistemi di telelettura installati con altri sistemi di misura (e.g. smart meter gas, elettrici, acqua) ai fini di una diagnosi energetica dell'edificio in tempo reale e l'implementazione di tecniche di fault detection and isolation; ii) l'analisi del risparmio energetico ottenibile con l'adozione di sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi energetici, anche sulla base delle diverse modalità con cui viene informato l'utente finale (i.e. con in-home display in tempo reale, via internet non in tempo reale).

Gli autori ritengono, infine, che sia necessario effettuare un puntuale rilievo dei costi capitali e di gestione relativi al mercato Nazionale e una campagna sperimentale finalizzata alla determinazione dei benefici attesi nelle tipiche condizioni di utilizzo e climatiche mediterranee.

## 5 Riferimenti bibliografici

- [1] *D. L. 12 settembre 2014, n.133 Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive*, Gazzetta Ufficiale n. 212 del 12/09/2014, 2014.
- [2] *Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102, Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.*, Gazzetta Ufficiale n. 165 del 18/7/2014., 2014.
- [3] *Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012, sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.* Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea n. L 31, 2012.
- [4] *SWD(2013) 448 final. Guidance note on Directive 2012/27/EU on energyefficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EC, and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*, Brussels, 6.11.2013.
- [5] *Gullev, L. & Poulsen, M., "The installation of meters leads to permanent changes in consumer behaviour"*, News from DBDH. Journal 3/2006 pp. 20-24..
- [6] *Clemens Felsmann, Juliane Schmidt, Technische Universität Dresden, Auswirkungender verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität*, January 2013.
- [7] *EMPIRICA, MBIC (ENER/C3/2013-977), Guidelines on good practice in cost-effective cost allocation and billing of individual consumption of heating, cooling and domestic hot water in multi-apartment and multi-purpose buildings*, Version dated 30th May 2016.
- [8] *Oschatz, B. Heiz kostener fassung im Niedrig energie haus*, published in BBSR Heft 118., 2004.
- [9] *Sønderlund, A.L., Smith, J.R., Hutton, C., Kapelan, Z. Using Smart Meters for Household Water Consumption Feedback: Knowns and Unknowns*, Procedia Engineering 89, 990-997, 2014.
- [10] *Metering requirements for Heating, Cooling and Hot Water networks. IA No: DECC0154 Date: 25/06/2014 Stage: Final Type of measure: Secondary Legislation.*
- [11] *BRE, Building Research Establishment Ltd 2012. District Heating – Heat Metering Cost Benefit Analysis.*
- [12] [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/48389/5462-district-heating--heat-metering-cost-benefit-anal.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48389/5462-district-heating--heat-metering-cost-benefit-anal.pdf).
- [13] *The metering and billing of district heating, district cooling, and communal heating and hot water systems*, DECC URN 14D/434, November 2014 .
- [14] *Darby, S. The effectiveness of feedback on energy consumption – A review for Defra of the literature on metering, billing and direct displays*, Environmental Change Institute (Oxford), April 2006.
- [15] *UK Regulation 2014 No. 3120 ENERGY The Heat Network (Metering and Billing) Regulations 2014.*
- [16] *DECC HEAT NETWORKS INDIVIDUAL HEAT METERING VIABILITY TEST TOOL 141024 DECC Heat Metering Viability Tool v5c.*
- [17] *DECC HEAT NETWORKS INDIVIDUAL HEAT METERING VIABILITY TEST TOOL GENERAL SPECIFICATION. 24th October 2014 Tool version: 141024 DECC Heat Metering Viability Tool v5c.*
- [18] *(Interdepartmental Analysts' Group (IAG) (IAG projections, Table 5 - Retail Gas Prices.*
- [19] *AEEGSI, 252/2016/R/TLR, REGOLAZIONE IN MATERIA DI OBBLIGHI DI FORNITURA E INSTALLAZIONE DI SISTEMI DI MISURA NEL SETTORE DEL TELERISCALDAMENTO E DEL TELERAFFRESCAMENTO*, 2016.
- [20] *D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della, L. 9 gennaio 1991, n. 10.* Gazzetta Ufficiale 14 ottobre

- 1993, n. 242, 1993.
- [21] UNI/TS 11300-1:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, Milano: UNI, 2014.
- [22] UNI/TS 11300-2:2014. *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria*, Milano: per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali. UNI, 2014.
- [23] UNI/TS 11300-3:2010. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva, Milano: UNI, 2010.
- [24] UNI/TS 11300-4:2012. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, Milano: UNI, 2012.
- [25] CEN/TR 15615:2008. Explanation of the general relationship between various European Standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella document, CEN, 2008.
- [26] UNI 10200:2015, *Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria - Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale ed acqua calda sanitaria*, Milano: Ente nazionale di Unificazione, 2015.
- [27] <http://www.autorita.energia.it/it/dati/gp27new.htm>.
- [28] Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- [29] Paolo Zangheri, Lorenzo Pagliano *The challenges, dynamics and activities in the building sector and its energy demand in Italy*, D2.1 of WP2 from Entranze Project, 2012.
- [30] S. & H. B. Siggelsten, Incentives for individual metering and charging, *Journal of Facilities Management*, 2002.
- [31] E. Commission, Guidance note on Directive 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EC, and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, 2013.
- [32] L. & M. Gullev, The installation of meters leads to permanent changes in consumer behaviour, 2006.
- [33] DICEM, *Analisi e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura delle reti termiche distribuite*, ENEA Ricerca di Sistema Elettrico 2015.
- [34] UNI EN 15459:2008. *Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici*, Milano: Ente Nazionale Italiano di unificazione, 2008.
- [35] <http://www.autorita.energia.it/it/prezzi.htm>.

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

ACS	Acqua Calda Sanitaria
AEEGSI	Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas ed il Sistema Idrico
D.Lgs.	Decreto legislativo
D.P.R.	Decreto del Presidente della Repubblica
DICEM	Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale
DM	Decreto Ministeriale
EED	Direttiva Europea sull'efficienza energetica
HCA	Ripartitore di calore
HM	Contatore di energia termica
ITC-TC	Sistema di contabilizzazione del calore basato sui tempi di inserzione compensati con la temperatura media del fluido termovettore
LAMI	Laboratorio di Misure Industriali dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale
MID	Direttiva Europea sugli strumenti di misura
UNI	Ente Italiano di Unificazione