



## Ricerca di Sistema elettrico

# Sviluppo di un software per l'analisi della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi di ACS

M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, G. Cortellessa, P. Vigo

SVILUPPO DI UN SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA DEI SISTEMI DI  
CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE DEI CONSUMI DI ACS

M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, G. Cortellessa, P. Vigo

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

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

Progetto D.1 - Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo:A2. 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 " Ottimizzazione e miglioramento dei sistemi di contabilizzazione e dei metodi di ripartizione del calore" (rif. Progetto D1 "Tecnologie per costruire gli edifici del futuro")

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Biagio Di Pietra

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

## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 TECNOLOGIE DI PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E CONTABILIZZAZIONE DELL'ACQUA CALDA SANITARIA CENTRALIZZATA .....	8
2.1 SISTEMA DI PRODUZIONE .....	8
2.2 SISTEMA DI ACCUMULO .....	9
2.3 SISTEMA DI DISTRIBUZIONE E DERIVAZIONE .....	11
2.4 SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE DEI CONSUMI DI ACS .....	12
2.4.1 <i>Contatore di ACS</i> .....	15
2.4.2 <i>Contatore di energia termica</i> .....	16
3 ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE DI ACS .....	17
3.1 LA NORMA UNI EN 15459 PER L'ANALISI DELLA FATTIBILITÀ ECONOMICA .....	17
3.2 STIMA DEI BENEFICI POTENZIALMENTE OTTENIBILI .....	18
3.2 PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UN SW PER L'ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE DI ACS.....	20
3.2.1 <i>Analisi del fabbisogno di ACS dell'edificio</i> .....	21
3.2.2 <i>Verifica della fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione di ACS</i> .....	22
3.2.3 <i>Analisi dei costi fissi (CAPEX) e di esercizio (OPEX)</i> .....	24
3.2.4 <i>Esito della verifica della fattibilità economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS</i> .....	25
4 CONCLUSIONI.....	27
5 BIBLIOGRAFIA.....	28
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	30

## Indice delle Tabelle

Tabella 1 – Classi di temperatura dei contatori di ACS.....	15
Tabella 2 – Errori massimi tollerati (MPE) per i contatori di ACS.....	16
Tabella 3 – Analisi dei benefici ottenibili.....	19
Tabella 4 – Coefficienti per la stima del fabbisogno di ACS .....	21
Tabella 5 - Costi di acquisto, installazione e gestione contatori acqua calda sanitaria.....	24

## Indice delle Figure

Figura 1 – Sistema di produzione dedicato istantaneo di ACS.....	9
Figura 2 – Sistema di produzione dedicato di ACS con accumulo.....	10
Figura 3 – Sistema di distribuzione: a) diretta con ricircolo; b) indiretta di ACS con scambiatore a piastre ..	12
Figura 4 – Impianti di derivazione .....	12
Figura 5 – Schema a blocchi sistemi di contabilizzazione ACS .....	14
Figura 6 – MPE contatori acqua e ACS .....	16
Figura 7 - Foglio di calcolo “Fabbisogno ACS” .....	22
Figura 8 – Analisi della Fattibilità tecnica .....	24
Figura 9 - Analisi dei Costi.....	25
Figura 10 – Analisi costi-benefici .....	26

## Sommario

Il presente rapporto *“SVILUPPO DI UN SOFTWARE PER L’ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE DEI CONSUMI DI ACS.”* 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 della ricerca ha riguardato due principali aspetti: 1) l’analisi delle tecnologie di produzione e distribuzione dell’acqua calda sanitaria, 2) l’analisi della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS.

Per la prima attività sono stati, da un lato, analizzate le principali tecniche di produzione, accumulo, distribuzione, derivazione e contabilizzazione di ACS e dei relativi schemi impiantistici applicabili. Dall’altro lato, sulla base degli input specifici dell’edificio in base ai riferimenti normativi applicabili (e.g norma UNI 10200, UNI 11300) e della norma di riferimento EN 15459 per la valutazione della fattibilità economica, gli autori hanno sviluppato un tool informatico di supporto per Progettisti e Tecnici abilitati per la valutazione della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS.

Gli autori ritengono che i risultati raggiunti e descritti puntualmente nel presente rapporto di ricerca potranno essere utili al fine di valutare le soluzioni tecniche applicabili per la progettazione dei sistemi di contabilizzazione dei consumi di ACS

In particolare, il SW sviluppato nell’ambito del presente progetto di ricerca potrà rappresentare un valido supporto per i Progettisti e Tecnici abilitati nella valutazione della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione dei consumi di ACS

## 1 Introduzione

La Direttiva europea 2012/27/UE sull'Efficienza Energetica (EED) [1] prevede l'introduzione dell'obbligo per le utenze residenziali servite da un impianto termico centralizzato o da teleriscaldamento di installare sistemi che consentano la misura individuale dei consumi per riscaldamento/raffrescamento (e.g. per il riscaldamento contatori diretti di energia termica o dispositivi per la sua misura indiretta associata a sistemi per la termoregolazione dell'ambiente) e di Acqua Calda Sanitaria (ACS), assolvendo così alla duplice funzione di aumentare la consapevolezza dei consumi energetici degli utenti finali ed introdurre i criteri per una equa suddivisione delle spese tra le singole unità abitative. Tutto ciò nella misura in cui questo sia tecnicamente possibile ed economicamente giustificabile in relazione ai risparmi energetici potenziali.

Il D.Lgs. 4 luglio 2014 n.102 [2] e il successivo D.Lgs. 141/2016 [3], in recepimento della citata Direttiva EED, confermano senza sostanziali modifiche gli obblighi previsti in merito all'adozione dei sistemi di contabilizzazione individuale del calore e ACS negli edifici riforniti da una fonte di riscaldamento centralizzata, subordinando l'installazione dei suddetti dispositivi all'esito di una valutazione di fattibilità tecnico-economica da parte di un Progettista o Tecnico abilitato, secondo quanto prescritto dall'art. 9 comma 5 del D.Lgs. n.102/2014.

Gli impianti centralizzati presenti negli edifici esistenti in ambito nazionale tipicamente adottano sottosistemi di distribuzione di Acqua Calda Sanitaria che raramente consentono una semplice installazione dei sistemi di misura dei consumi individuali. 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). 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.

Nell'ambito del PAR 2016 [4], ENEA e il Dipartimento DiCeM dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale hanno analizzato la fattibilità tecnica e progettato e sviluppato un software di supporto per l'analisi della fattibilità tecnico-economica per la installazione di sistemi di contabilizzazione (diretta e indiretta) dei consumi per riscaldamento. Il software, disponibile gratuitamente all'indirizzo <http://www.energiaenergetica.enea.it/Cittadino>, si basa su una interfaccia utente user-friendly, che considera:

- le caratteristiche tecniche dell'edificio;
- la fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione;
- la stima dei costi fissi e dei costi di esercizio;
- la stima dei benefici potenziali ottenibili attraverso la contabilizzazione e la termoregolazione;
- la verifica della convenienza economica dei sistemi di contabilizzazione diretta e di ripartizione indiretta.

Nella continuità con il SW sviluppato per la contabilizzazione dei consumi per riscaldamento, gli autori hanno valutato la fattibilità tecnica dei sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi di ACS e progettato e sviluppato un SW integrativo per la valutazione della fattibilità tecnica ed economica di detti sistemi, prendendo in opportuna considerazione sia le peculiarità tecniche di produzione e distribuzione di ACS negli edifici con generatore centralizzato che quelle più prettamente economiche quali, ad esempio, la definizione di un beneficio ottenibile. Infatti, mentre gli aspetti relativi alla fattibilità tecnica risultano di più facile valutazione e poco soggetti a interpretazioni personali, la valutazione della fattibilità economica è più complessa a causa dei numerosi aspetti che possono influenzarne l'esito. Relativamente alla quantificazione del beneficio ottenibile, malgrado esistano in letteratura numerosi lavori scientifici sulla valutazione del beneficio connesso alla contabilizzazione individuale dei consumi energetici in climi continentali (la maggior parte dedicati ai consumi di energia elettrica, pochi al riscaldamento, e quasi nessuno ai consumi di ACS) non esistono né campagne sperimentali estensive a lungo termine, né studi riguardanti la quantificazione

empirica del beneficio specifico per ACS ottenibile in Italia, paese dal clima prevalentemente mediterraneo e caratterizzato da una diversa connotazione costruttiva del parco edilizio e degli impianti. Di conseguenza, non è possibile quantificare con adeguata accuratezza l'impatto dell'obbligo di installazione di sistemi di contabilizzazione individuale sui consumi di ACS a livello nazionale.

L'analisi condotta dall'Università di Cassino per conto di ENEA è consistita in due linee principali: 1) l'analisi delle tecnologie di produzione e distribuzione dell'acqua calda sanitaria, 2) l'analisi della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS.

In particolare, per la prima linea di analisi sono state affrontate le seguenti tematiche:

1. Analisi dei sistemi di produzione
2. Analisi dei sistemi di accumulo di ACS
3. Analisi dei sistemi di distribuzione e derivazione di ACS
4. Analisi dei Sistemi di contabilizzazione dei consumi di ACS

Per la seconda linea di analisi le attività sviluppate sono state:

1. Valutazione della fattibilità economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS alla luce della norma UNI EN 15459 [5];
2. Stima dei benefici ottenibili dai sistemi di contabilizzazione di ACS
3. Progettazione e sviluppo di un SW per la valutazione della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS

## 2 Tecnologie di produzione, distribuzione e contabilizzazione dell'acqua calda sanitaria centralizzata

### 2.1 Sistema di produzione

L'acqua calda per uso sanitario, denotata con l'acronimo ACS, viene generalmente prodotta in un impianto centralizzato attraverso lo stesso generatore di calore utilizzato per il riscaldamento. Pertanto, al di là della specifica tipologia di sistema di produzione, questi possono essere combinati (in quanto assolvono a più funzioni come ad esempio il riscaldamento e la produzione di ACS o dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria.

Tuttavia le soluzioni impiantistiche utilizzate nei sistemi di produzione e distribuzione dell'ACS possono essere molteplici, e pertanto l'analisi di fattibilità per valutare il potenziale risparmio sui consumi può variare di caso in caso.

Gli impianti per la produzione di acqua calda possono utilizzare diverse fonti energetiche quali: i) combustibili solidi (e.g. legna, cippato); ii) combustibili gassosi (e.g. gas naturale, GPL); iii) combustibili liquidi (e.g. olio combustibile, gasolio); iv) energia elettrica; v) altre fonti rinnovabili (e.g. energia solare, geotermia). Pertanto il ventaglio di soluzioni possibili per il sistema di produzione è quello di:

- a) generatori di calore tradizionali a gas o a gasolio: fino alla recente diffusione del metano i generatori di calore erano generalmente alimentati a gasolio, ma attualmente le caldaie più diffuse sono quelle a gas, con tecnologia a temperatura costante (per evitare problemi di condensazione, ma con bassi rendimenti stagionale), a temperatura scorrevole (che consentono elevati rendimenti medi stagionali con temperatura variabile in funzione della richiesta del carico dell'impianto e delle condizioni climatiche), a condensazione (che recuperano il calore di condensazione);
- b) generatori a biomassa: le caldaie a cippato o a legna possono essere particolarmente convenienti se è possibile reperire in loco e a basso costo le biomasse. Le caldaie di ultima generazione sono diventate molto performanti e presentano rendimenti termici molto elevati (anche superiori al 90%); le caldaie a cippato di ultima generazione inoltre, rispetto alle caldaie a legna, permettono il caricamento automatico rendendo agevole la preparazione dell'acqua sanitaria. Per contro questi sistemi necessitano di un sistema di accumulo, in quanto non consentono la produzione istantanea di acqua sanitaria. La soluzione più versatile è quella che associa un generatore a biomassa necessario alla produzione dell'acqua sanitaria, soprattutto nel periodo invernale, con un impianto solare termico;
- c) generatori solari termici: tali sistemi sono certamente quelli più sostenibili e relativamente a basso costo, ma presentano il problema della continuità nella disponibilità (oraria e stagionale) di energia solare; per tale motivo è necessaria integrazione tale sistema di produzione con un altro generatore di calore; una buona esposizione e progettazione del sistema di captazione unitamente ad un sistema di accumulo accuratamente dimensionato, può dar luogo ad una copertura dei fabbisogni energetici anche superiore al 50% dei consumi energetici di ACS; Il decreto n. 28/2011 obbliga, nel caso di edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, l'impiego di impianti alimentati da fonti rinnovabili per soddisfare almeno il 50% dei consumi per ACS;
- d) generatori a pompa di calore: a differenza delle caldaie, che producono acqua calda sanitaria ad una temperatura superiore a quella necessaria all'utilizzo le pompe di calore, permettono di produrre l'acqua calda sanitaria a temperature medio-basse con un rendimento complessivo maggiore anche rispetto ad una caldaia a condensazione. La soluzione più versatile è quella che

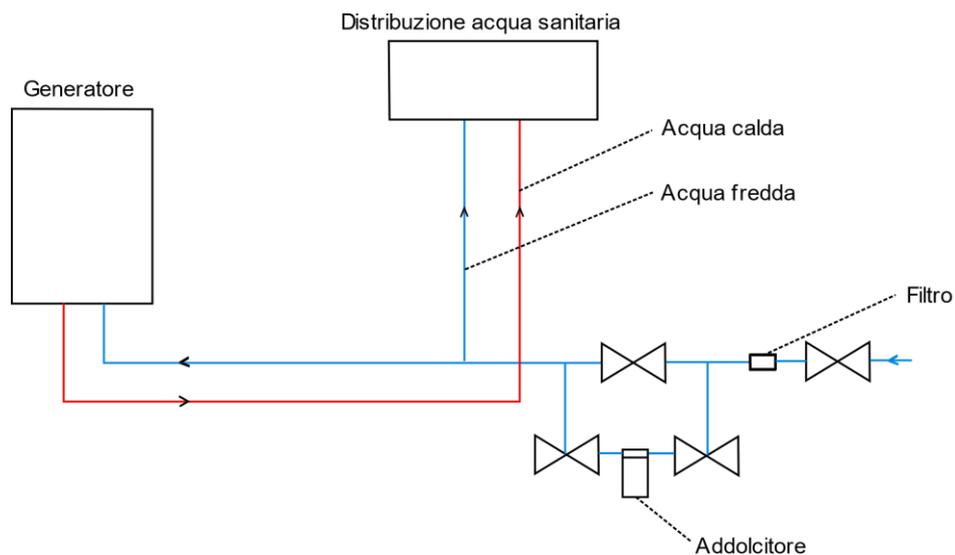
associa questi sistemi ad un impianto fotovoltaico ottenendo un impianto completamente autosufficiente;

- e) teleriscaldamento: gli impianti di teleriscaldamento consentono, attraverso un fluido termovettore (tipicamente acqua calda, acqua surriscaldata o vapor d'acqua) ed una rete di tubazioni isolate e interrato, di trasferire energia termica da una centrale di produzione ad utenze remote. Presso l'utenza il fluido termovettore alimenta una cabina di riconsegna in cui è generalmente installato uno scambiatore di calore che in pratica sostituisce la centrale termica (e.g. la caldaia).

## 2.2 Sistema di accumulo

La presenza di un sistema di accumulo dipende dalla tipologia di impianto di ACS. Essi possono essere suddivisi:

- a produzione istantanea, dove il generatore si attiva nel momento esatto in cui viene fatto un prelievo di acqua calda (si veda Figura 1);



**Figura 1 – Sistema di produzione dedicato istantaneo di ACS**

- ad accumulo, in cui l'ACS viene accumulata e mantenuta pronta all'uso alla temperatura desiderata (si veda Figura 2).

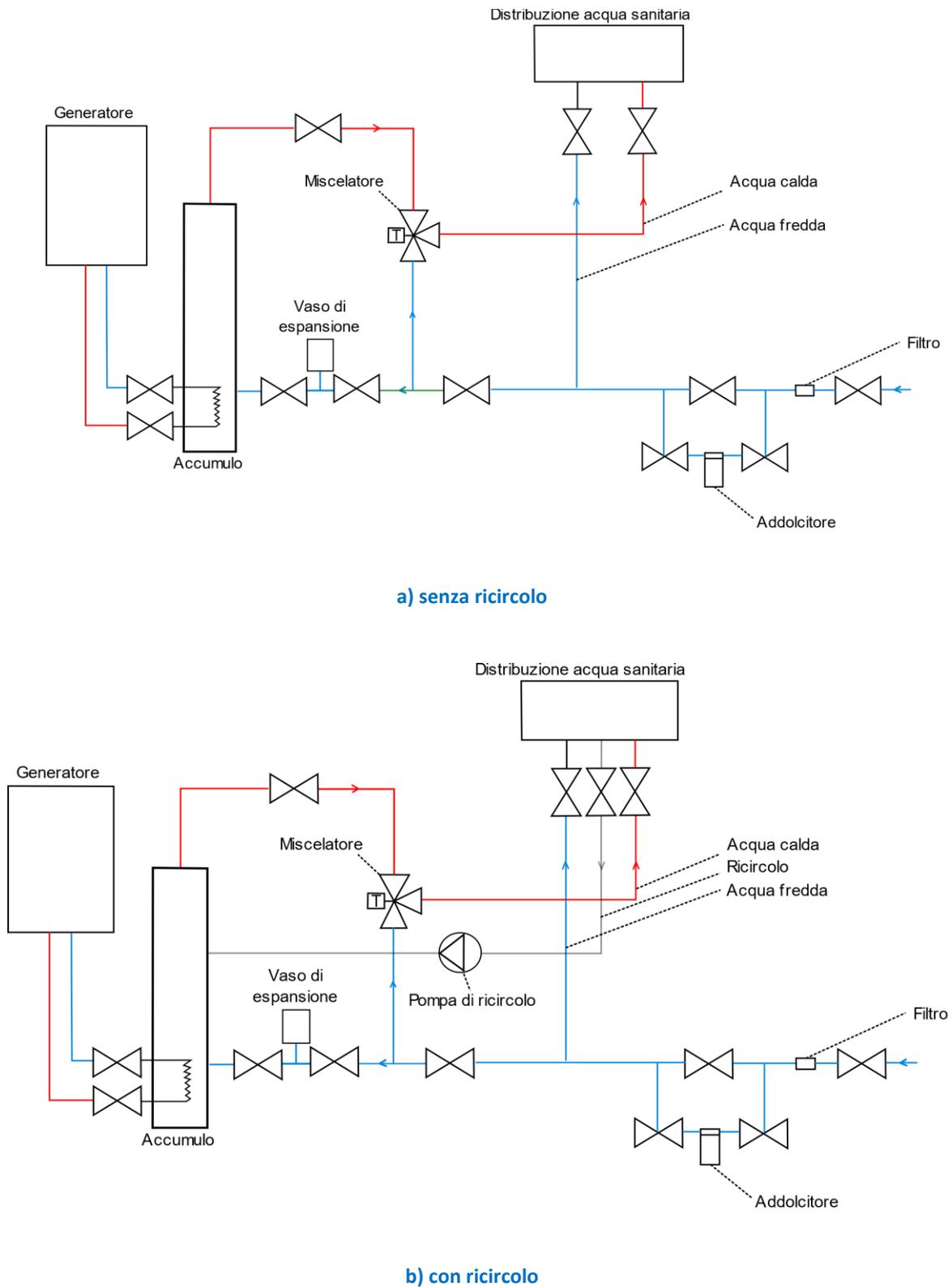


Figura 2 – Sistema di produzione dedicato di ACS con accumulo

I sistemi di accumulo permettono di stoccare energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria. I dispositivi di accumulo sono generalmente costituiti da un serbatoio d'acqua e da uno scambiatore a serpentino (che può essere anche multiplo nel caso in cui al sistema principale di generazione viene associato dei pannelli solari termici, termocamini, caldaie a biomassa, ecc. Nel caso di produzione di acqua calda sanitaria di tipo indiretto i sistemi a doppio serpentino consentono l'integrazione di più sorgenti di calore (e.g. caldaie ed impianti solari termici). Tali sistemi presentano il vantaggio, rispetto a un sistema di produzione istantanea, di utilizzare un sistema di produzione di potenza ridotta, ma nel contempo sono soggetti a una maggiore dispersione termica. Nel caso di produzione di acqua calda sanitaria di tipo diretto in abbinamento ad una caldaia istantanea l'accumulo ha una funzione di preriscaldamento (per cui se l'acqua non è in temperatura viene inviata in caldaia anziché all'utenza).

### 2.3 Sistema di distribuzione e derivazione

Le norme di riferimento per la progettazione degli impianti idrico sanitari sono la norma UNI 9182 [6] e la UNI EN 806 [7]. Nel seguito si riportano le due principali tipologie di sistemi di distribuzione senza entrare nel merito delle problematiche di progettazione, non essenziali ai fini della presente trattazione.

Nei sistemi di derivazione diretta per assicurare che l'acqua calda sanitaria arrivi alle utenze più remote ad una temperatura costante si predispongono generalmente idonei circuiti di ricircolo. La norma UNI 9182:2014 specifica i criteri per il dimensionamento degli impianti per consentire all'acqua di restare in continuo movimento ed evitare le conseguenze della stagnazione con inevitabili dispersioni e rischio igienico. La portata d'acqua da ricircolare dipende dall'estensione della rete, dalla sua coibentazione, e dalla perdita di temperatura ammessa fra il punto di mandata e quello di ritorno.

Sistema di derivazione indiretta (con satelliti di utenza): in tali impianti ogni utenza è dotata di un proprio satellite in cui il fluido vettore viene derivato alla pressione e temperatura desiderata e nelle quantità necessarie. Ciascuno dei satelliti d'utenza negli impianti ad ACS centralizzata è dotato di un circuito di acqua sanitaria (i.e. scambiatore veloce) che riscalda l'acqua sanitaria quando necessario durante la fase di attingimento, in quantità sufficiente ed igienicamente sicura. La preparazione di ACS viene generalmente regolata su base flussostatica e termostatica combinata assicurando in tal modo una temperatura e pressione costante.

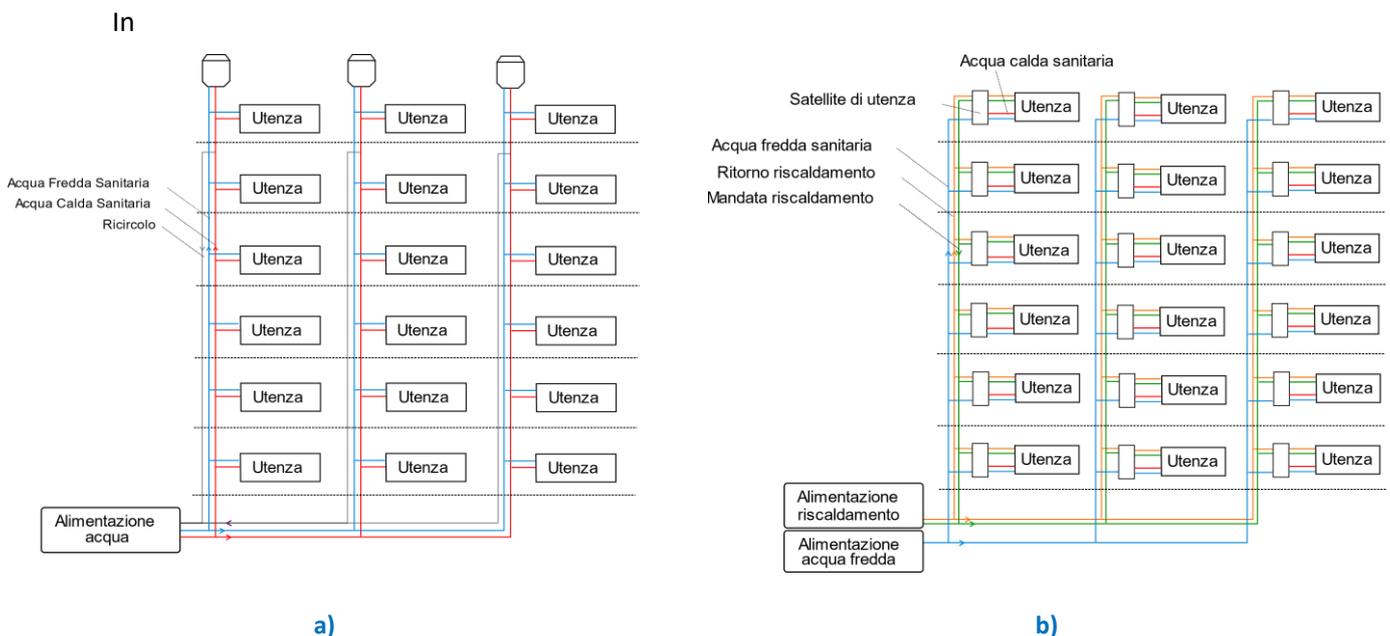


Figura 3 sono rappresentati gli schemi di impianto tipici associati ai sistemi sopra descritti, mentre in Figura 4 vengono invece rappresentati, a titolo di esempio, due possibili configurazioni impiantistiche per lo stacco dal circuito primario di distribuzione e l'erogazione all'utenza, tipicamente associati agli impianti di derivazione diretta in assenza di modulo satellitare di utenza.

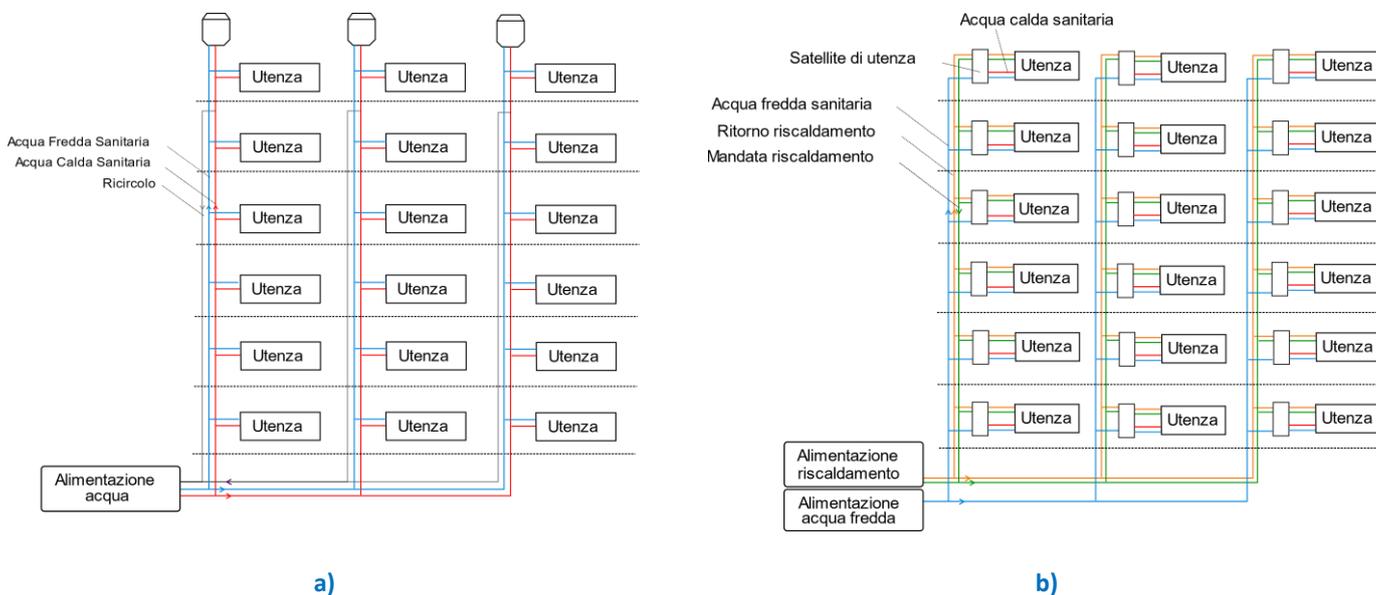


Figura 3 – Sistema di distribuzione: a) diretta con ricircolo; b) indiretta di ACS con scambiatore a piastre

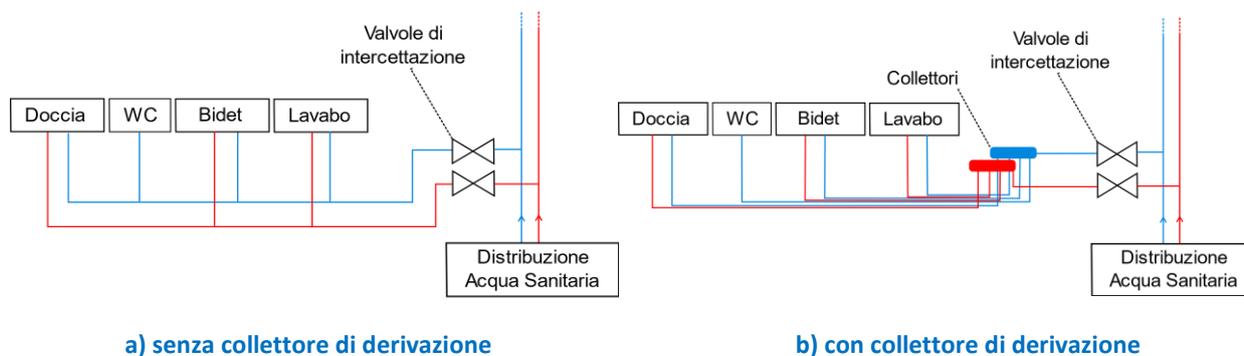


Figura 4 – Impianti di derivazione

## 2.4 Sistemi di contabilizzazione dei consumi di ACS

La progettazione del sistema di contabilizzazione dei servizi energetici centralizzati può dipendere fortemente dalla tipologia di impianto. Nella fattispecie, il sistema di contabilizzazione per il servizio ACS dipende sia dal sistema di produzione (combinato o dedicato), che dal sistema di distribuzione e derivazione (diretta o indiretta).

La vigente norma tecnica UNI 10200 [8] per la contabilizzazione dei consumi di calore in impianti alimentati da sistemi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS centralizzati, non opera una classificazione specifica degli impianti di produzione e distribuzione dell'ACS. Ai fini del presente lavoro gli autori hanno quindi ritenuto necessario analizzare, nel contempo, sia le indicazioni fornite dalla normativa in riferimento alla contabilizzazione dell'ACS, che i sistemi di misura associabili alle diverse tipologie di impianti di produzione e distribuzione di ACS al fine di ricavare le casistiche alle quali associare un determinato sistema di contabilizzazione del servizio ACS. Queste vengono riassunte nel seguito:

- Contabilizzazione di energia termica totale associata al consumo di ACS

*a) Generatori dedicati (asserviti al solo servizio ACS)*

Nel caso di uno (o più) generatori asserviti al solo servizio di produzione ACS, la contabilizzazione del consumo individuale del calore può essere effettuato mediante l'installazione di contatori volumetrici di ACS, indipendentemente dal tipo di distribuzione e derivazione dell'impianto.

Il progettista dovrà avere cura di verificare sul progetto di impianto, o mediante sopralluogo, il numero di punti di derivazione di ACS per ogni appartamento, al fine che sia contabilizzata tutta l'ACS consumata da ogni utente.

Non sarà necessaria, sebbene comunque consigliabile, l'installazione di un CET in locale caldaia, in quanto il consumo totale dell'edificio potrà essere contabilizzato attraverso il contatore di combustibile associato al generatore (e.g. contatore gas, contatore volumetrico per oli combustibili etc.).

*b) Generatori combinati (asserviti a più servizi)*

Qualora un determinato generatore (o gruppo di generatori) sia asservito, contemporaneamente, a più servizi (per esempio climatizzazione invernale ed acqua calda sanitaria), occorre opportunamente contabilizzare l'energia utile da esso erogata ed immessa nella rete di distribuzione tra i differenti servizi in centrale, dotando la rete di distribuzione di contatori di calore dedicati ai singoli servizi. In particolare occorre, ove possibile, dotare il generatore di almeno n-1 contatori (dove n è il numero dei servizi a cui esso è dedicato) così da poter determinare per differenza il contributo corrispondente al servizio sprovvisto. La contabilizzazione del consumo individuale del calore dovrà essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche del sistema di distribuzione e derivazione, come dettagliatamente descritto in seguito.

Qualora un determinato vettore energetico sia asservito, contemporaneamente, a più servizi (ad esempio perché utilizzato da più generatori, quali una caldaia per riscaldamento e un bollitore a fuoco diretto per acqua calda sanitaria), la spesa globale dovuta al vettore considerato deve essere opportunamente suddivisa tra i differenti servizi mediante CET dedicati alla centrale termica. La contabilizzazione del consumo individuale del calore dovrà essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche del sistema di distribuzione e derivazione, come dettagliatamente descritto in seguito.

- Contabilizzazione del consumo di ACS divisionale (Livello di distribuzione/derivazione)

a) *Derivazione diretta*

In presenza di sistemi di derivazione diretta la contabilizzazione individuale del servizio ACS può essere effettuata mediante l'installazione di contatori volumetrici di ACS (sia nel caso di produzione combinata che dedicata).

b) *Derivazione indiretta*

In presenza di satelliti di utenza dotati di scambiatore veloci di ACS, la contabilizzazione individuale del servizio ACS può essere effettuata (se è già installato un CET divisionale sul primario dello scambiatore) senza l'installazione di ulteriori contatori volumetrici divisionali di ACS, sia effettuando una stima per differenza con le letture estive, sia (ove ciò non sia possibile) eseguendo la ripartizione senza differenziare i consumi individuali per riscaldamento ed ACS. È comunque consigliabile l'installazione di un contatore volumetrico per il servizio di ACS specie nel caso di nuova progettazione dell'impianto. Nel caso in cui il contatore di energia termica non sia invece già installato è necessario provvedere ad installare per ciascuna utenza un contatore di energia divisionale.

In Figura 5 si riporta uno schema a blocchi delle soluzioni applicabili per la contabilizzazione dei consumi di ACS.

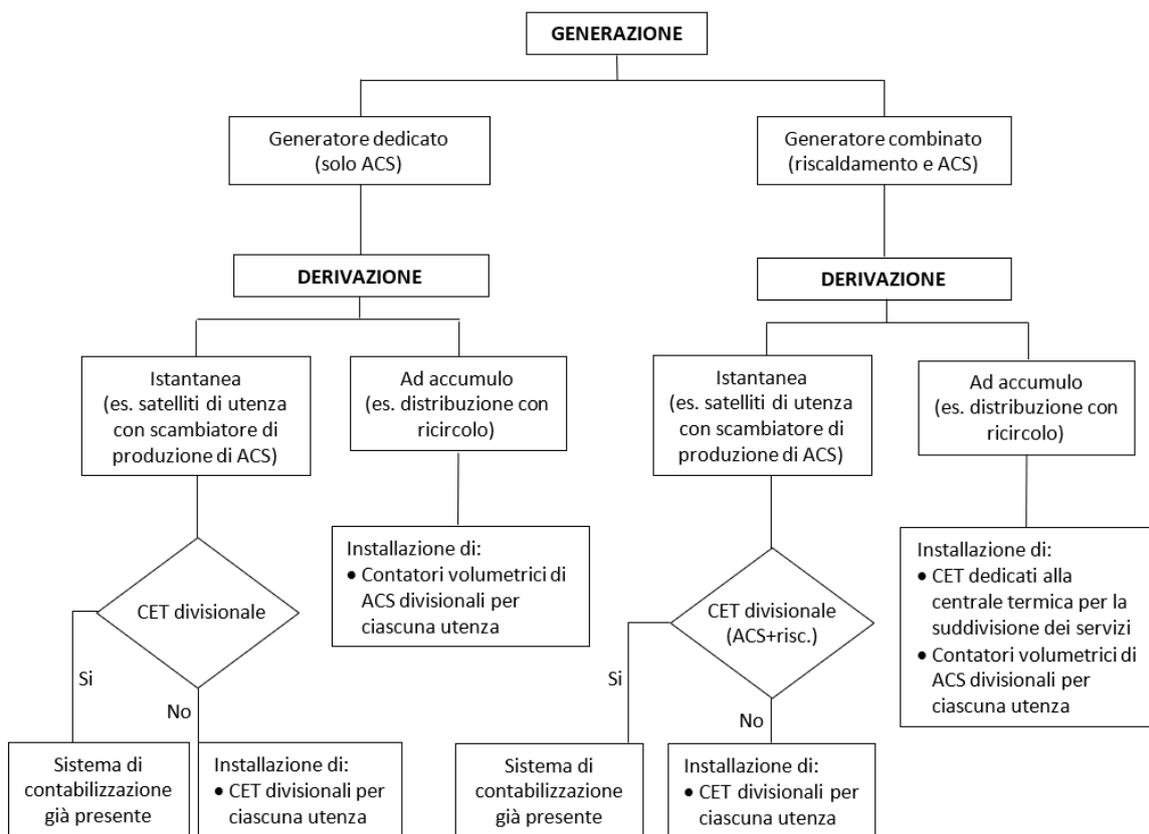


Figura 5 – Schema a blocchi sistemi di contabilizzazione ACS

### 2.4.1 Contatore di ACS

I consumi di acqua calda sanitaria possono essere stimati attraverso la misura della quantità di acqua prelevata dalla rete moltiplicata per una differenza di temperatura, attraverso la relazione:

$$Q_W = (L_{2,cv} - L_{1,cv}) \cdot \rho_W \cdot c_W \cdot (\vartheta_{er,i} - \vartheta_0) \quad (1)$$

dove:

- $Q_W$  l'energia consumata per ACS, [kWh]
- $L_{1,cv}$  la lettura iniziale del contatore volumetrico, [m<sup>3</sup>];
- $L_{2,cv}$  la lettura finale del contatore volumetrico, [m<sup>3</sup>];
- $\rho_W$  la massa volumica dell'acqua (posta convenzionalmente pari a 1000 kg/m<sup>3</sup>);
- $c_W$  il calore specifico dell'acqua a pressione costante (1,162 10<sup>-3</sup> Wh/kg °C);
- $\vartheta_{er,i}$  la temperatura media di erogazione dell'acqua calda sanitaria;
- $\vartheta_0$  la temperatura media dell'acqua fredda (prelevata dal generatore).

A questo scopo sono generalmente utilizzati i misuratori volumetrici che presentano un basso costo e una discreta precisione, una buona affidabilità ed un'elevata rangeability. L'incertezza di misura è fortemente legata alle tolleranze meccaniche tra le parti fisse e quelle mobili, che possono causare indesiderati trafileamenti e conseguenti errori sistematici nella misura. Questi misuratori sono, inoltre, molto sensibili alle cadute di pressione tra monte e valle dello strumento.

Dal punto di vista normativo, i contatori di ACS per uso residenziale, commerciale ed industria leggera sono regolati dalla Direttiva 2014/32/EU (allegato MI-001) [9] e dalle norme tecniche armonizzate della serie EN 4064 [10]. Sono definite le portate minima ( $Q_1$ ), di transizione ( $Q_2$ ), permanente ( $Q_3$ ) e di sovraccarico ( $Q_4$ ). Il contatore di ACS deve quindi poter funzionare negli intervalli di temperatura  $0.1 < T < 30^\circ\text{C}$  e  $30 < T < 90^\circ\text{C}$  e nei campi di pressione tra 0.3 e 10 bar a  $Q_3$ . In relazione alla rangeability sono imposte le seguenti condizioni: i)  $Q_3/Q_1 \geq 10$ , ii)  $Q_2/Q_1 \geq 1.6$ , iii)  $Q_4/Q_3 \geq 1.25$ . L'allegato MI-001 per contatori di acqua e ACS non definisce classi di accuratezza per i contatori, ma stabilisce unicamente le classi di temperatura del contatore in funzione dell'intervallo ammesso di temperatura del contatore stesso (vedi Tabella 1).

**Tabella 1 – Classi di temperatura dei contatori di ACS**

Classe	mAT	MAT
T30	0.1	30
T50	0.1	50
T70	0.1	70
T90	0.1	90
T130	0.1	130
T180	0.1	180
T30/70	30	70
T30/90	30	90
T30/130	30	130
T30/180	30	180

mAT temperatura minima ammessa  
 MAT temperatura massima ammessa

Gli errori massimi tollerati sono definiti come segue:

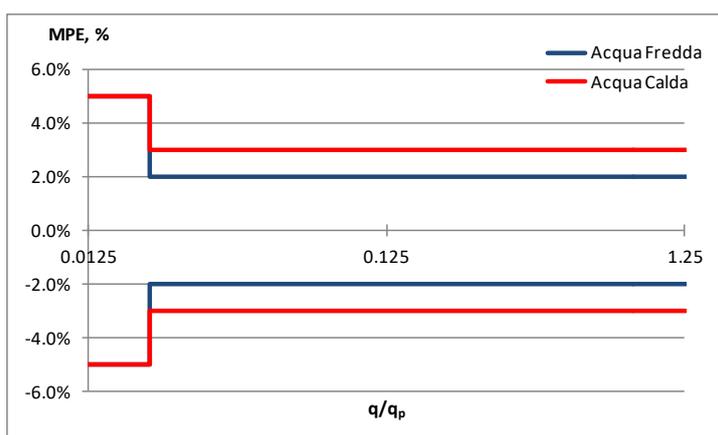
- nel campo di portata tra la portata di transizione ( $Q_2$ ) inclusa e quella di sovraccarico ( $Q_4$ ) gli MPE sono pari a  $\pm 2\%$  per temperatura dell'acqua inferiore o uguale a  $30^\circ\text{C}$  e  $\pm 3\%$  per temperatura dell'acqua superiore a  $30^\circ\text{C}$  (i.e. ACS);

- nel campo di portata tra la portata minima ( $Q_1$ ) e quella di transizione ( $Q_2$ ) esclusa  $MPE=\pm 5\%$  per qualsiasi valore di temperatura dell'acqua.

Il contatore di ACS deve poter essere installato in modo da funzionare in qualsiasi posizione, salvo che su di esso non sia apposta chiaramente diversa segnalazione. Il fabbricante inoltre deve specificare se il contatore è progettato per misurare il flusso inverso. In tal caso, il volume del flusso inverso deve essere sottratto dal volume accumulato, oppure registrato separatamente. Al flusso normale e al flusso inverso si applica il medesimo errore massimo tollerato. I contatori dell'acqua che non sono progettati per misurare il flusso inverso devono impedire un flusso inverso o sopportare un flusso inverso accidentale senza subire deterioramenti o alterazioni delle rispettive proprietà metrologiche. In Tabella 2 e Figura 6 Sono rappresentati gli MPE per i contatori di acqua e ACS.

**Tabella 2 – Errori massimi tollerati (MPE) per i contatori di ACS**

Portata	MPE Acqua Calda ( $T \leq 30^\circ\text{C}$ )	MPE Acqua Calda ( $T > 30^\circ\text{C}$ )
$Q_1 < Q \leq Q_2$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
$Q_2 < Q \leq Q_4$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$



**Figura 6 – MPE contatori acqua e ACS**

#### 2.4.2 Contatore di energia termica

L'analisi dei contatori di energia termica è stata già sviluppata e presentata nell'ambito dei progetti di ricerca di sistema elettrico dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale con ENEA e descritta nei Report RdS/PAR2014/021 "Analisi e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura delle reti termiche distribuite" [11] e RdS/PAR2017/091 "Ottimizzazione e miglioramento dei sistemi di contabilizzazione e dei metodi di ripartizione del calore" [12], ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti in merito.

Particolare attenzione, nell'uso dei contatori di energia termica per la contabilizzazione dei consumi di ACS, dovrà essere prestata alle modalità di installazione, sia del sensore di flusso che della coppia di sensori di temperatura ed alle conseguenze che gli eventuali vincoli impiantistici ed architettonici potranno avere sulla valutazione della fattibilità tecnica ed economica propeedeutica.

### 3 Analisi della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS

Nel presente progetto di ricerca è stato progettato e realizzato un software per l'analisi di fattibilità tecnica-economica delle soluzioni più comuni dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione dei consumi di acqua calda sanitaria (ACS). 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.

#### 3.1 La norma UNI EN 15459 per l'analisi della fattibilità economica

Per valutare l'efficienza economica dei sistemi di contabilizzazione individuale di ACS in un edificio dotato di una fonte di riscaldamento centralizzata, oltre alla conoscenza dei costi capitali e di gestione è necessario valutare il beneficio atteso in termini di risparmio energetico derivante dall'adozione di questi sistemi. In particolare, il Progettista o Tecnico abilitato dovrà effettuare una stima di alcuni parametri quali:

- il tasso di interesse di mercato;
- il tasso di inflazione;
- il tasso di incremento del costo dell'energia;
- i costi di acquisto ed installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione e delle opere ad essi connesse;
- i costi di progettazione;
- i costi gestionali di manutenzione;
- i costi gestionali di lettura e ripartizione;
- i benefici economici;
- gli eventuali benefici fiscali.

Il D.Lgs. 102/2014 [2] e s.m.i. all'art.9 comma 5 punti b) e c) richiama esplicitamente la norma UNI EN 15459 [5] come metodologia applicabile per la valutazione della fattibilità economica dei sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione individuale negli edifici soggetti all'obbligo.

La norma UNI EN 15459 [5] può essere utilizzata, anche per parti degli impianti, per:

- la valutazione della fattibilità economica delle opzioni di risparmio energetico negli edifici;
- il confronto tra le diverse soluzioni per il risparmio energetico negli edifici, ad esempio il tipo di impianto o di combustibile.

In merito alla metodologia da adottare, la norma UNI EN 15459 [5] prescrive che la valutazione economica dell'investimento possa essere effettuata secondo due diverse modalità:

- stima del costo annuale dell'investimento;
- stima del costo globale dell'investimento.

Per valutare la fattibilità economica, quindi, è innanzitutto necessario fissare il tasso di interesse di mercato,  $R$ , e il tasso di inflazione,  $R_i$ , sulla base dei quali è possibile calcolare:

- il tasso di interesse reale,  $R_R$ :

$$R_R = \frac{R - R_i}{1 + R_i} \quad (2)$$

- il tasso di sconto,  $R_d(i)$ , all'anno  $i$ -esimo:

$$R_d(i) = \left( \frac{1}{1+R_R} \right)^i \quad (3)$$

- il fattore di attualizzazione,  $f_{pv}(i)$ , che è il coefficiente moltiplicativo dei costi/ricavi che permette di ottenere il corrispondente valore dell'anno  $i$ -esimo riferito all'anno iniziale:

$$f_{pv}(i) = \frac{1-(1+R_R)^{-i}}{R_R} \quad (4)$$

- il fattore di annualizzazione,  $a(i)$ , che consente di suddividere ciascun costo in un costo annuale attualizzato:

$$a(i) = \frac{1}{f_{pv}(i)} \quad (5)$$

In relazione ai costi energetici, la norma UNI EN 15459 [5] introduce un tasso di incremento del costo dell'energia,  $R_e$ , che in prima battuta, come suggerito dalla stessa norma, può essere assunto pari al tasso di inflazione. Nel caso dei vettori energetici elettrico e gas è possibile fare riferimento al valor medio calcolati in base ai dati presenti nelle Relazioni annuali di ARERA, l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. In questo caso, ai fini del calcolo di  $f_{pv}(i)$  e di  $a(i)$ , nelle formule (2), (3), (4) e (5) si dovrà sostituire al valore di  $R_i$  il valore del tasso di incremento del costo dell'energia,  $R_e$ .

### 3.2 Stima dei benefici potenzialmente ottenibili

Gli studi empirici sulla valutazione dei benefici attesi dall'installazione di sistemi di contabilizzazione individuale dei consumi di energia per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) non sono particolarmente numerosi. La quasi totalità di tali studi è stata prodotta per la Svezia, Stato Membro significativamente differente rispetto all'Italia (in termini di usi e cultura della popolazione, clima, tipologie impiantistiche etc.) in cui il 90% degli edifici multi-residenziali (circa il 50% delle abitazioni e il 40% della popolazione svedese residente) sono alimentati da reti di teleriscaldamento per il riscaldamento invernale e per la produzione di ACS.

Gli studi analizzati in questo paragrafo, elencati in Tabella 3, riportano la variazione dei consumi per produzione di acqua fredda e calda a seguito dell'introduzione della contabilizzazione individuale. Dai dati in tabella si evince una significativa variabilità di questa stima (+16/-54%).

**Tabella 3 – Analisi dei benefici ottenibili**

Titolo	Autori	Paese	Tipologia di studio	Risparmio
Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates [13]	J. Terés-Zubiaga E. Pérez-Iribarren I. González-Pino J.M. Sala	Spagna	Studio sperimentale in un edificio multi-appartamento. Analizzate 4 stagioni di riscaldamento (2 pre e 2 post introduzione contabilizzazione del calore e di ACS)	0/-3%
Individuell värmemätning i Svenska flerbostadshus – en Lägesrapport (in svedese) [14]	L., Berndtsson	Svezia	Analisi di interviste a persone direttamente coinvolte in progetti di installazione di sistemi di contabilizzazione individuale di calore e acqua calda.	-15/-30%
Individual metering and charging of heat and hot water in Swedish housing cooperatives [15]	S., Siggelsten S., Olander	Svezia	Analisi di interviste erogate ai condomini di 3 edifici (87 appartamenti). Gli autori riferiscono che il risparmio è <u>calcolato</u> per recuperare l'investimento in 5 anni.	-20/-25%
Individual metering and debiting (IMD) in Sweden: A qualitative long-term follow-up study of householders' water-use routines [16].	H. Köhler	Svezia	Studio qualitativo basato sull'analisi di appunti, interviste, dati di misurazione e semplice osservazione di sette famiglie (5-17 mesi).	n/a
Using Smart Meters for Household Water Consumption Feedback: Knowns and Unknowns [17]	A.L. Sönderlunda J. R. Smitha C. Huttonb Z. Kapelanc	Svezia	Analisi bibliografica di 13 studi riguardanti le strategie di feedback sui consumi di acqua.	-53.6/+16% In media -19.6%
Individual metering and charging in existing buildings. REPORT 2015:34. [18]	Boverket	Svezia	Simulazioni Monte Carlo	0

È opinione degli autori che l'elevata variabilità del beneficio atteso sia strettamente connessa all'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, variazioni nei consumi energetici non imputabili alla contabilizzazione come ad esempio variazioni del nucleo familiare etc.). Di fatto, la maggioranza degli studi analizzati produce stime di risparmio energetico analizzando questionari ed osservazioni raccolte da utenti ed attori dei servizi energetici (costruttori/installatori/gestori etc.). Per gli stessi studi, di natura qualitativa, si evidenzia una carenza dal punto di vista della caratterizzazione del sistema di metering installato e della tipologia di feedback erogato e l'impossibilità di una approfondita analisi dei fattori di variabilità del beneficio atteso.

La presente indagine bibliografica ha evidenziato, inoltre, la quasi totale assenza di studi sistematici ed esperienze documentate sia per l'Italia che, più in generale, per i paesi mediterranei e la carenza di studi sperimentali strettamente riguardanti i consumi di ACS. Studi relativi al metering dei consumi di acqua sono, infatti, per lo più riferiti al consumo totale di acqua (acqua fredda e calda) che alla sola ACS. È parere degli autori che sia necessario approfondire la materia mediante indagini sperimentali dedicate alla individuazione dei principali fattori di influenza sia sui consumi di ACS che, di conseguenza, sui risparmi potenzialmente ottenibili dall'adozione di strategie di metering individuale.

Si può quindi affermare, in prima battuta, che il beneficio ottenibile risulta variabile in funzione di:

- tipologia di feedback e livello di informazione dell'utente: la consapevolezza e la partecipazione del cliente finale è stimolata da una frequente informazione sui consumi energetici; in assenza di un sistema di feedback utente è dubbia l'efficacia di installazione di tali sistemi relativamente all'atteso risparmio energetico;

- modalità con cui l'informazione sui consumi di ACS viene trasmessa al cliente: feedback erogati attraverso in home display sembrano essere maggiormente efficaci nella comunicazione all'utente finale rispetto ai sistemi di bollettazione con frequenza minore (settimanale/mensile/bimestrale);
- tipologia di utenza: numerosità e/o a reddito delle famiglie, presenza di anziani e/o adolescenti, livello di istruzione degli utenti possono determinare variazione dei consumi di ACS a valle dell'introduzione della contabilizzazione individuale significativamente diverse;
- criterio adottato per la ripartizione delle spese in contesti con più unità immobiliari: quota per consumi volontari e involontari;
- eventuale utilizzo di fattori compensativi per gli appartamenti svantaggiati (i.e. l'erogazione di ACS agli appartamenti situati agli ultimi piani è connessa a maggiori perdite di massa per il raggiungimento della temperatura desiderata).

Gli autori conservativamente stimano un beneficio medio atteso compreso tra il 5% ed il 10% sul territorio nazionale in funzione della frequenza e della tipologia di feedback erogato.

### *3.2 Progettazione e sviluppo di un SW per l'analisi della fattibilità tecnica ed economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS*

Il software sviluppato si basa su un'interfaccia utente semplice ed è costruito su fogli di calcolo Excel. Il SW di calcolo si basa su quattro routine in cui vengono considerati rispettivamente:

1. *Stima del fabbisogno di ACS dell'edificio.*

Il SW, sulla base di dati reperibili in maniera univoca (ad esempio nei documenti della certificazione energetica dell'edificio e nella normativa applicabile come la UNI 11300-2) e delle caratteristiche dell'edificio (e.g. destinazione d'uso, numero di appartamenti) restituisce il fabbisogno di ACS in termini energetici (kWh/anno);

2. *Verifica della fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione di ACS.*

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 del sistema di contabilizzazione di ACS che si intende realizzare;

3. *Analisi dei costi fissi e dei costi di esercizio.*

Per la valutazione dei costi fissi e di esercizio è stata lasciata la possibilità di inserire gli effettivi costi disponibili ad esempio attraverso offerte specifiche per l'intervento in questione al variare del tipo di installazione e del sistema di contabilizzazione che l'utente sceglie.

4. *Verifica della convenienza economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS.*

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.

### 3.2.1 Analisi del fabbisogno di ACS dell'edificio

Con riferimento allo standard tecnico nazionale UNI TS 11300-2 [19], è possibile calcolare i fabbisogni di energia termica utile per acqua calda sanitaria in base alle portate di acqua per le varie destinazioni d'uso e alla differenza tra temperatura di erogazione e temperatura di immissione di acqua fredda sulla base dei dati di riferimento definiti nella succitata specifica tecnica.

In particolare, l'energia termica richiesta per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un edificio,  $Q_W$  [kWh], è funzione del volume di acqua richiesto e della differenza fra le temperature di erogazione e dell'acqua fredda in ingresso è data dall'equazione (6):

$$Q_W = \rho_W \cdot c_W \cdot \sum_i [V_{W,i} (\vartheta_{er,i} - \vartheta_0)] \cdot G \quad (6)$$

dove:

- $\rho_W$  è la massa volumica dell'acqua, posta pari a 1000 [kg m<sup>-3</sup>];
- $c_W$  è il calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 \* 10<sup>-3</sup> [kWh kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>];
- $V_{W,i}$  è il volume di acqua giornaliero per l'i-esima attività o servizio richiesto [m<sup>3</sup> giorno<sup>-1</sup>];
- $\vartheta_{er,i}$  è la temperatura di erogazione dell'acqua per l'i-esima attività o servizio richiesto [°C];
- $\vartheta_0$  è la temperatura dell'acqua fredda in ingresso [°C], pari a 40°C per edifici residenziali e valutazioni di tipo A1 (design rating) e A2 (asset rating);
- $G$  è il numero di giorni del periodo di calcolo considerato [d].

Il foglio di calcolo prevede la possibilità di effettuare una prima valutazione puntuale del fabbisogno di ACS per edifici ad uso strettamente residenziale. Per tali edifici il volume di acqua richiesto dall'abitazione  $V_{W,i}$ , espresso in litri/giorno, è calcolato mediante l'equazione (1), prestando attenzione alla conversione da litri/giorno a m<sup>3</sup>/giorno.

$$V_{W,i} = a \cdot S_u + b \quad (7)$$

Dove:

- $a$  è un parametro in litri/(m<sup>2</sup> giorno) ricavabile in Tabella 4 in funzione della classe di superficie utile dell'abitazione;
- $b$  è un parametro in litri/(giorno) ricavabile in Tabella 4 in funzione della classe di dell'abitazione;
- $S_u$  è la superficie utile dell'abitazione espressa in metri quadri.

A tale scopo, il foglio di calcolo è predisposto per raccogliere le seguenti informazioni:

- media annuale delle temperature medie mensili dell'aria,  $T_{m,aria}$ , desumibile attraverso la metodologia della norma UNI 10349 [20];
- la superficie media utile degli appartamenti,  $S_u$ , desumibile dai dati catastali o di progetto dell'edificio;
- Il numero di utenti serviti dall'impianto di ACS, ovvero il numero di utenti asserviti dall'impianto centralizzato per la produzione di ACS decurtato di eventuali utenti distaccati;
- il rendimento globale dell'impianto di produzione e distribuzione di ACS,  $\eta_{glob}$ , dato dal prodotto dei rendimenti di produzione, accumulo, distribuzione ed erogazione come da UNI TS 11300-2 [19].

**Tabella 4 – Coefficienti per la stima del fabbisogno di ACS**

$S_u$ [m <sup>2</sup> ]	$a$ [l/(m <sup>2</sup> d)]	$b$ [l/d]
<=35	0	50
35<Su<=50	2.667	-43.33
50<Su<=200	1.067	36.67
>200	0	250

In maniera semplificativa, il foglio di calcolo è progettato in maniera tale da calcolare il volume di acqua richiesto per una singola unità immobiliare ( $V_{W,i}$ ), ottenendo poi la stima del volume complessivo giornaliero richiesto attraverso l'equazione (8).

$$V_{W,edificio} = V_{W,i} \cdot n_{app} \quad (8)$$

Il fabbisogno annuale di energia termica per ACS dell'edificio,  $E_{pw}$  in kWh/anno, viene quindi calcolato attraverso l'equazione (9).

$$E_{pw} = 1000 \cdot 0,001162 \cdot 365 \cdot (40 - T_{m,aria}) \cdot \frac{V_{W,edificio}}{\eta_{glob}} \quad (9)$$

Nel caso di edifici ad uso non strettamente residenziale (ad esempio edifici multipurpose), il tool prevede l'inserimento manuale del fabbisogno di energia termica per produzione di ACS dell'intero edificio, suggerendo di riferirsi al punto 7.1.3 dello standard tecnico UNI TS 11300-2 [19].

In Figura 7 si riporta un'immagine del foglio di calcolo relativo alla descrizione dell'edificio.

STIMA DEL FABBISOGNO (UNI TS 11300-2, punto 7.1.2)		
Tipo di edificio		Residenziale
Media annuale delle temperature medie mensili dell'aria (UNI 10349)		15
Superficie media utile degli appartamenti in m <sup>2</sup>		110
Numero di utenti asserviti da impianto centralizzato per edificio		10
Classe di superficie utile (Su)		50 < Su <= 200
Volume di acqua giornaliero per appartamento [m <sup>3</sup> /die]		1.5404
Rendimento globale (produzione e distribuzione ACS)		0.6
Fabbisogno di energia termica dell'edificio per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS)		
<b>E<sub>pw</sub></b>	27 222	[kWh/anno]

Figura 7 - Foglio di calcolo "Fabbisogno ACS"

### 3.2.2 Verifica della fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione di ACS

I principali problemi connessi alla verifica della fattibilità tecnica dell'installazione dei sistemi di contabilizzazione di ACS in impianti centralizzati esistenti sono legati all'intercettabilità delle tubazioni di derivazione di ACS per le diverse unità immobiliari.

Nella contabilizzazione dell'ACS sono generalmente utilizzati i misuratori volumetrici che presentano generalmente un basso costo ed una buona accuratezza, affidabilità e rangeability. Essi sono inoltre normati e inclusi nella direttiva MID (allegato MI-001).

Nel caso di impianto centralizzato di produzione di ACS e fornitura separata di ACS e calore, i consumi di ACS possono essere semplicemente stimati come indicato nella normativa tecnica UNI 10200 [8], cioè attraverso la misura della quantità di acqua prelevata dalla rete moltiplicata per una differenza di temperatura predefinita (tipicamente 48°C per la mandata di ACS e 15°C per l'ingresso di acqua di rete).

La valutazione della fattibilità tecnica viene effettuata nel foglio dedicato "Fattibilità tecnica". In particolare, l'utente viene guidato nella caratterizzazione dell'impianto di generazione, distribuzione e derivazione mediante una serie di quesiti ai quali l'utente risponde selezionando da appositi menu a tendina.

In particolare, con riferimento alla flow chart in Figura 5, l'impianto di produzione/distribuzione ed erogazione di ACS viene dapprima caratterizzato in base a:

1. Tipo di produzione: all'utente è consentito di selezionare tra "Generatore dedicato (solo ACS)", nel caso la produzione di ACS sia demandata da uno o più generatori dedicati (di qualsiasi genere); "Generatore combinato (ACS + riscaldamento)" nel caso la produzione di ACS sia effettuata utilizzando lo stesso generatore asservito all'impianto di riscaldamento.
2. Tipo di distribuzione e derivazione: all'utente è consentito di selezionare tra "Ad accumulo (es. distribuzione con ricircolo)" e "Istantanea (es. satelliti di utenza con scambiatore per ACS)";
3. Presenza di contatori di calore divisionali di utenza: qualora già presenti contatori di calore divisionali installati nei satelliti di utenza, il sistema di contabilizzazione installato risulta già sufficiente per le finalità di ripartizione delle spese energetiche secondo la UNI 10200 [8];

Ulteriori informazioni vengono poi richieste riguardo a:

4. Combustibile di alimentazione: tale informazione è fondamentale per il calcolo della spesa presunta annua per la produzione di ACS e, quindi, per le successive valutazioni economiche;
5. Quota parte di energia coperta da fonte rinnovabile: nel caso in cui siano presenti uno o più sistemi di produzione di ACS da fonte rinnovabile, l'utente è tenuto a stimare la frazione di energia primaria totale annua prodotta da fonte rinnovabile. Tale frazione sarà decurtata dall'energia primaria complessiva stimata ai fini calcolo della spesa totale annua; per la sua determinazione, l'utente dovrà riferirsi alla normativa UNI TS 11300-4 [21];
6. Caratteristiche dell'impianto di distribuzione: l'utente può caratterizzare l'impianto di distribuzione come  
"A colonne montanti verticali + tubi distributori orizzontali": si ritiene che questa sia la configurazione impiantistica più diffusa, tuttavia, nel caso in cui la distribuzione sia realizzata in maniera differente, l'utente può selezionare  
"Altro": selezionando questa scelta, il tool è progettato per attivare una cella dedicata in cui l'utente può specificare la diversa tipologia di impianto di distribuzione analizzata;
7. Numero di linee di mandata principale del circuito primario di distribuzione: tale informazione è necessaria solo nel caso di impianti dotati a generazione combinata (ACS + riscaldamento), in quanto utile alla determinazione del numero di CET da installarsi in centrale termica (ad esempio, nel caso in cui vi siano più generatori/accumuli con linee di mandata dedicate);
8. Numero di linee di derivazione dell'ACS per appartamento: è possibile, specialmente in sistemi di distribuzione particolarmente complessi o soggetti a più modifiche nel tempo, che uno stesso appartamento abbia più punti di derivazione dell'ACS; in tal caso il tool suggerirà l'installazione di tanti contatori volumetrici quanti sono i punti di derivazione di ACS per ogni appartamento;
9. Intercettabilità delle tubazioni di derivazione: è possibile che le tubazioni di derivazione dell'ACS non siano intercettabili per vincoli tecnici (i.e. tubazioni sotto traccia ed assenza dei tracciati di impianto); in tal caso all'utente sarà consigliato di quantificare economicamente eventuali opere murarie e/o altre opere necessarie in una apposita casella del foglio di inserimento costi.

Le sezioni "ESITO VALUTAZIONE TECNICA" ed "ELENCO STRUMENTI" contengono un riepilogo della valutazione tecnica dell'impianto nonché delle ipotesi di base (tipo e numero di strumenti da installare) sulle quali verranno effettuate le successive valutazioni economiche.

In Figura 8 si riporta un'immagine del foglio di calcolo per la fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione di ACS.



INFORMAZIONI GENERALI E CARATTERISTICHE TECNICHE IMPIANTO	
Numero utenti asserviti da impianto centralizzato	10
Energia primaria annua da combustibile fossile per ACS [kWh/anno]	27 222
Generazione combinata/dedicata	Generatore combinato (ACS + riscaldamento)
Tipo di produzione e derivazione	Ad accumulo (es. distribuzione con ricircolo)
Sono già presenti contatore di energia termica (CET) divisionali di utenza?	N/A
Combustibile alimentante il/i generatore/i	Gas Naturale
Quota parte di energia coperta da fonte rinnovabile (se applicabile) [%]	0
Caratteristiche dell'impianto di distribuzione	A colonne montanti verticali + tubi distributori orizzontali
Di quante linee di mandata principale è dotato il circuito primario di distribuzione?	1
Numero di punti di derivazione ACS per singolo appartamento	1
È possibile intercettare le tubazioni di derivazione senza opere murarie?	No

Se necessarie opere murarie, il progettista è tenuto a quantificarle o nella casella D12 o in 'Costi di Installazione' nell'Inserimento Costi

ESITO VALUTAZIONE TECNICA	
Installazione di CET dedicati alla centrale termica per la suddivisione dei servizi e di contatori volumetrici di ACS divisionali per ciascuna utenza	

ELENCO STRUMENTI	
Contatori volumetrici di utenza	10
CET divisionali per le utenze	0
Contatore di energia termica (CET) dedicato alla centrale termica	Necessario 1

Figura 8 – Analisi della Fattibilità tecnica

### 3.2.3 Analisi dei costi fissi (CAPEX) e di esercizio (OPEX)

In una recente analisi di mercato, gli autori hanno analizzato i costi di acquisto, installazione e gestione dei contatori di ACS di varie taglie. L'analisi ha riguardato un campione di circa 20 operatori. In Tabella 5 sono riportati i valori "di riferimento" utilizzabili in assenza di informazioni specifiche (e.g. offerte e preventivi puntuali per i singoli edifici). In Tabella 5 sono riportati i valori mediani del costo di acquisto, di installazione e di gestione dei contatori di ACS di diversa taglia.

Tabella 5 - Costi di acquisto, installazione e gestione contatori acqua calda sanitaria

Portata permanente del contatore	Q <sub>3</sub> =2.5 m <sup>3</sup> /h		
	Costo Contatore, €/un.	Costo Installazione, €/APP	Costo di Gestione, €/APP
Q <sub>3</sub> = 2.5 m <sup>3</sup> /h	€ 55.00	€ 40.00	€ 10.00
Q <sub>3</sub> = 4.0 m <sup>3</sup> /h	€ 54.50	€ 35.00	€ 9.00
Q <sub>3</sub> = 6.3 m <sup>3</sup> /h	€ 150.00	€ 50.00	€ 10.00
Q <sub>3</sub> = 10 m <sup>3</sup> /h	€ 150.00	€ 90.00	€ 9.50
Q <sub>3</sub> = 16 m <sup>3</sup> /h	€ 220.00	€ 85.00	€ 9.50
Q <sub>3</sub> = 25 m <sup>3</sup> /h	€ 387.00	€ 100.00	€ 10.00

In Figura 9 si riporta un'immagine del foglio di calcolo relativo all'analisi dei costi (HM).



INSERIMENTO COSTI			
CAPEX	€		1,260.00
OPEX	€		50.00
	€/unità	q.tà	€
Contatore di calore	€ 150.00	0	€ -
Contatore volumetrico di utenza	€ 80.00	6	€ 480.00
Costi di installazione [€/app]	€ 50.00	6	€ 300.00
Progetto del sistema di contab. [€/app]	€ 80.00	6	€ 480.00
Costi di gestione (lettura, manutenzione, controlli periodici) [€/anno]	€ 50.00	1	€ 50.00
COSTI AGGIUNTIVI			
Altri interventi necessari/Costi ulteriori (annotare nella casella verde il valore in € di eventuali costi aggiuntivi quali ulteriori opere murarie, idrauliche etc., nella casella bianca specificare il tipo di intervento richiesto)			€ -

Figura 9 - Analisi dei Costi

### 3.2.4 Esito della verifica della fattibilità economica dei sistemi di contabilizzazione di ACS

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 [5], esplicitamente richiamata nel documento esplicativo UE ed all'art.9 comma 5 punti b) e c) del DL 102/2014 [2]. 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:

$$R_R = \frac{R - R_i}{1 + R_i/100} \quad (10)$$

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + R_R/100} \right)^p \quad (11)$$

$$f_{pv}(n) = \frac{1 - \left(1 + \frac{R_R}{100}\right)^{-n}}{R_R/100} \quad (12)$$

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:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (13)$$

$$a(n) = \frac{1}{f_{pv}(n)} \tag{14}$$

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)  $C_j$  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 10).

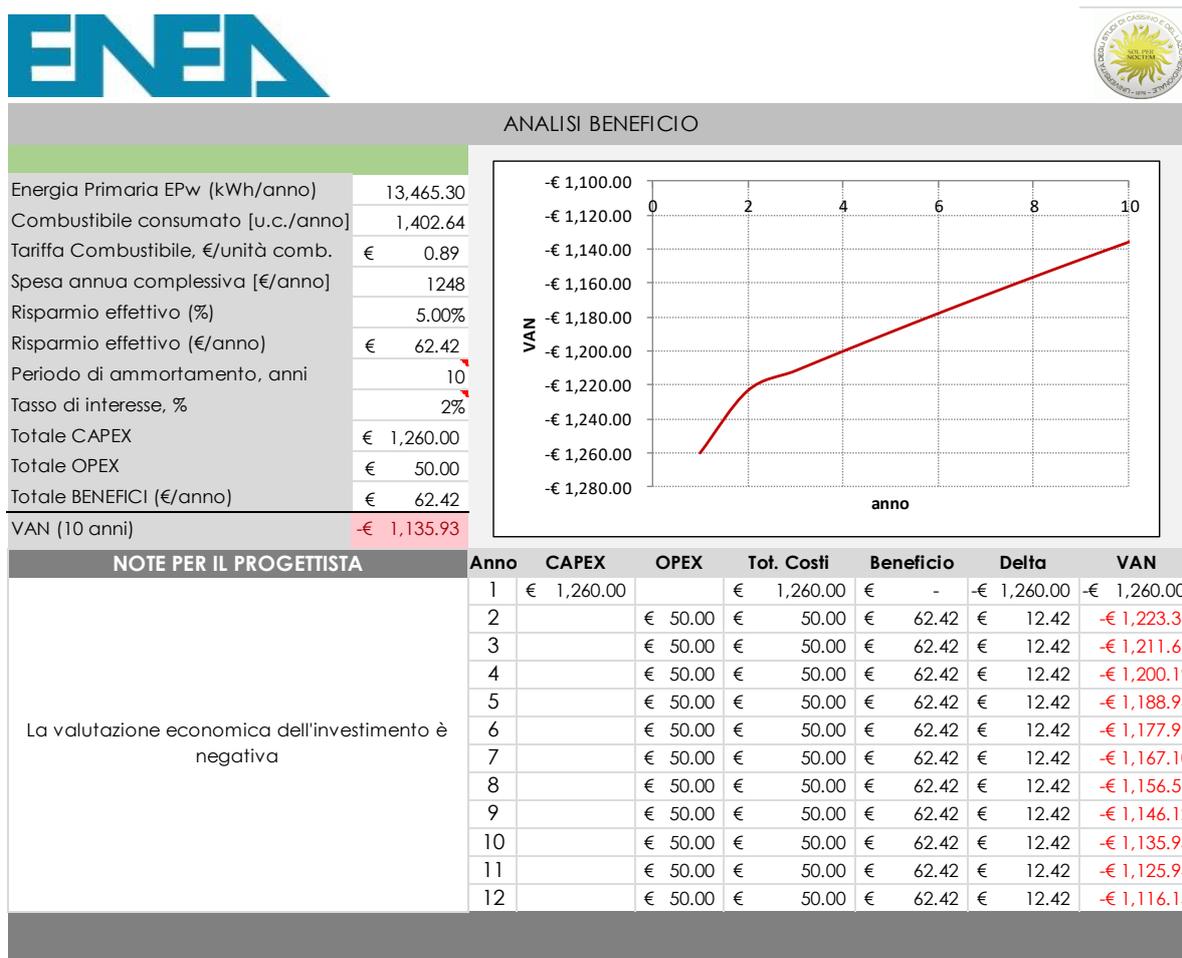


Figura 10 – Analisi costi-benefici

## 4 Conclusioni

Nel presente lavoro, a valle di una breve disamina degli impianti centralizzati di produzione e distribuzione di acqua calda sanitaria (funzionale alla definizione dei sistemi di contabilizzazione ad essi associati), è stata analizzata la fattibilità tecnico-economica per la installazione di sistemi di contabilizzazione dei consumi individuali di ACS. Dal punto di vista strettamente tecnico è opportuno sottolineare che spesso gli impianti esistenti sul territorio nazionale non consentono una semplice installazione dei sistemi di misura dei consumi individuali. 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). Inoltre, data la modesta diffusione del servizio di ripartizione di ACS non risulta disponibile una letteratura adeguata relativa ai risparmi energetici e ai benefici economici ottenibili a seguito di una contabilizzazione e ripartizione delle spese di ACS basata sui consumi reali per singola utenza. In particolare non sono noti agli autori specifiche campagne sperimentali riguardanti la quantificazione del beneficio specifico per ACS ottenibile. Di conseguenza, non è stato possibile quantificare con adeguata accuratezza l'impatto dell'obbligo di installazione dei sistemi di contabilizzazione individuale sui consumi di ACS a livello nazionale.

Per facilitare il lavoro dei tecnici che devono valutare la fattibilità tecnico economica dei sistemi di contabilizzazione del ACS è stato progettato e sviluppato un software di supporto per l'analisi della fattibilità tecnico economica che si basa su un'interfaccia utente user-friendly e che considera: i) le caratteristiche tecniche dell'impianto; ii) la fattibilità tecnica del sistema di contabilizzazione; iii) la stima dei costi fissi e dei costi di esercizio; iv) la stima dei benefici potenziali ottenibili attraverso la contabilizzazione dell'ACS; v) la verifica della convenienza economica dei sistemi di contabilizzazione. Gli autori hanno tenuto in considerazione sia le peculiarità tecniche di produzione e distribuzione di ACS negli edifici con generatore centralizzato che quelle più prettamente economiche quali, ad esempio, la definizione del beneficio ottenibile.

## 5 Bibliografia

- [1] 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
- [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] DECRETO LEGISLATIVO 18 luglio 2016, n. 141 Disposizioni integrative al decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, di 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. (16G00153) (GU Serie Generale n.172 del 25-07-2016)
- [4] Università di Cassino/ENEA. Report RdS/PAR2016. Analisi dei benefici energetici ottenibili attraverso l'utilizzo dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione del calore sul territorio nazionale
- [5] UNI EN 15459:2008. Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, Milano: Ente Nazionale Italiano di unificazione, 2008.
- [6] UNI 9182:2014. Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo
- [7] UNI EN 806-2:2008. Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano - Parte 2: Progettazione
- [8] UNI 10200:2018, 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, 2018.
- [9] Direttiva 2014/32/UE del parlamento europeo e del consiglio del 26 febbraio 2014. Concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato di strumenti di misura (rifusione)
- [10] UNI EN ISO 4064-1:2017 Contatori d'acqua per acqua potabile fredda e acqua calda - Parte 1: Requisiti metrologici e tecnici
- [11] Università di Cassino/ENEA. Report RdS/PAR2014/021 "Analisi e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura delle reti termiche distribuite".
- [12] Università di Cassino/ENEA. Report RdS/PAR2017/091 "Ottimizzazione e miglioramento dei sistemi di contabilizzazione e dei metodi di ripartizione del calore".
- [13] J. Terés-Zubiaga , E. Pérez-Iribarren, I. González-Pino, J.M. Sala. Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates. Energy Conversion and Management Volume 171, 1 September 2018, Pages 491-506
- [14] L., Berndtsson. Individuell värmemätning i Svenska flerbostadshus – en Lägesrapport (in svedese). Statens Energimyndighet Projekt P11835-2 2013-03-31
- [15] S., Siggelsten, S., Olander. Individual metering and charging of heat and hot water in Swedish housing cooperatives. Energy Policy (2013) 61:874-880
- [16]. H. Köhler. Individual metering and debiting (IMD) in Sweden: A qualitative long-term follow-up study of householders' water-use routines. Energy Policy Volume 108, September 2017, Pages 344-354
- [17] A.L. Sønnderlunda, J. R. Smitha, C. Huttonb, Z. Kapelanc. Using Smart Meters for Household Water Consumption Feedback: Knowns and Unknowns. Procedia Engineering 89 ( 2014 ) 990 – 997
- [18] Boverket. Individual metering and charging in existing buildings. REPORT 2015:34.

- [19] 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.
- [20] UNI 10349-1:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata
- [21] 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.

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

ACS	Acqua calda sanitaria
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
EED	Direttiva Europea sull'efficienza energetica
CET	Contatore di energia termica

$\rho_W$	massa volumica dell'acqua, posta pari a 1000 [kg m <sup>-3</sup> ];
$c_W$	calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 * 10 <sup>-3</sup> [kWh kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ];
$V_{W,i}$	volume di acqua giornaliero per l'i-esima attività o servizio richiesto [m <sup>3</sup> giorno <sup>-1</sup> ];
$\vartheta_{er,i}$	temperatura di erogazione dell'acqua per l'i-esima attività o servizio richiesto [°C];
$\vartheta_0$	temperatura dell'acqua fredda in ingresso [°C],
A1	design rating
A2	asset rating
$G$	numero di giorni del periodo di calcolo considerato
$R_R$	tasso di interesse reale
$R_i$	tasso di inflazione
$R_d(p)$	tasso di sconto
$f_{pv}(n)$	fattore di attualizzazione
$C_G(\tau)$	costo globale dell'investimento
$p$	numero di anni
$\tau$	periodo investigato
$C_I$	investimento iniziale
$C_{a,i}(j)$	costi annuali per l'anno i-esimo e per ciascun componente j-esimo, incluso i costi di gestione e
$V_{f,\tau}(j)$	valore finale del componente j-esimo alla fine del periodo investigato.