

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/235782031>

Ottimizzazione di sistemi per la generazione di acqua calda sanitaria. Confronto tra la normativa e la pratica progettuale.

Conference Paper · September 2012

CITATIONS

0

READS

1,786

3 authors:



Roberto Zecchin

University of Padova

51 PUBLICATIONS 1,099 CITATIONS

SEE PROFILE



Michele De Carli

University of Padova

150 PUBLICATIONS 3,396 CITATIONS

SEE PROFILE



Samantha Graci

University of Padova

17 PUBLICATIONS 103 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Ground Coupled Heat Pump [View project](#)



Architectural acoustics [View project](#)

OTTIMIZZAZIONE DI SISTEMI PER LA GENERAZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA. CONFRONTO TRA LA NORMATIVA E LA PRATICA PROGETTUALE

R.Zecchin¹, M. De Carli¹, S. Graci¹

¹Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Padova

SOMMARIO

Il presente lavoro ha come obiettivo l'ottimizzazione della progettazione di sistemi per la preparazione di acqua calda sanitaria (ACS) in ambito residenziale. Sulla base di quanto indicato dalle correnti normative nazionale ed Europea e delle soluzioni comunemente adottate nella pratica progettuale sono state confrontate le prestazioni di differenti tipologie d'impianto. Sistemi ad accumulo (a miscela e a doppio serpentino) sono stati confrontati a sistemi per la generazione istantanea di ACS. Sono state valutate diverse taglie d'impianto, partendo da sistemi al servizio di abitazioni monofamiliari e bifamiliari, fino a complessi residenziali plurifamiliari. In funzione del fabbisogno complessivo e del carico di punta è stata individuata la tipologia di impianto più indicata e ne è stato effettuato il dimensionamento secondo la norma, ovvero il calcolo del volume ottimale del serbatoio di accumulo e della potenza di progetto dell'impianto. Per ogni soluzione è stata valutata la prestazione da un punto di vista energetico per mezzo del codice di analisi dinamica TRNSYS. Opportuni profili di carico per l'ACS, assunti dalla pratica, dalla letteratura e adattati alle utenze considerate, sono stati applicati ai casi in esame per un periodo di prova tale da garantire il funzionamento a regime del sistema. Attraverso la simulazione dinamica sono state verificate per ogni tipologia di utenza le indicazioni per il dimensionamento degli impianti fornite dalla normativa. Il risultato in alcuni casi ha confermato le indicazioni della norma in altri ha evidenziato una tendenza al sottodimensionamento dell'impianto. L'analisi, infine, ha permesso di determinare la migliore soluzione tra quelle analizzate, sia nel soddisfare le richieste da parte dell'utenza sia nel garantire le minori perdite di energia, rispettando i criteri di igiene e sicurezza che devono essere garantiti quando si lavora con accumuli e reti di ACS.

1. INTRODUZIONE

Questo studio si propone di analizzare le metodologie di dimensionamento dei sistemi per la preparazione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) in ambito residenziale, al fine di ottimizzare il calcolo del volume degli accumuli termici e le potenze degli apparecchi di generazione termica.

Il lavoro si basa sull'analisi degli impianti di due diverse tipologie di edifici, un edificio monofamiliare e un complesso abitativo di cinque alloggi. Alcuni metodi analitici per il dimensionamento degli impianti per l'ACS sono stati applicati ai casi studio e i risultati forniti sono stati confrontati allo scopo di verificarne l'attendibilità. Una volta verificato lo scostamento dei risultati rispetto al dimensionamento analitico previsto dalla normativa (denominato semplificato), mediante simulazione dinamica degli impianti, operata con il codice di calcolo commerciale TRNSYS[1], viene analizzata la capacità di soddisfare la domanda di ACS dell'utenza, valutata sulla base di profili di prelievo imposti.

Nella pratica esistono due macrocategorie di sistemi per la produzione di ACS: i sistemi istantanei e i sistemi ad accumulo. Il riscaldamento istantaneo consiste nell'elevare il livello termico di una certa portata d'acqua mentre essa scorre attraverso uno scambiatore di calore. I sistemi istantanei necessitano di apparecchi riscaldanti di potenza elevata, in quanto richiedono di portare velocemente la temperatura dell'acqua dal valore di 10-15 °C (temperatura dell'acquedotto) alla temperatura convenzionale di 40°C

all'utilizzo. Sistemi di questo tipo sono la soluzione più diffusa in ambito residenziale per quanto riguarda gli impianti autonomi, soprattutto per la loro flessibilità e la capacità di soddisfare le richieste dell'utenza in modo rapido e senza limiti, tuttavia da un punto di vista energetico risultano molto penalizzanti, soprattutto quando si valuta il consumo energetico ai fini del riscaldamento. I sistemi istantanei possono richiedere potenze installate dell'ordine di 25-30 kW per soddisfare la domanda di ACS di un'utenza monofamiliare, contro una potenza termica per il riscaldamento invernale che, nel caso di edifici monofamiliari progettati in un'ottica di risparmio energetico, richiede potenze installate che non superano 7 kW termici. Il generatore di calore si trova quindi a lavorare in modo fortemente parzializzato con pessimi effetti sul rendimento termico complessivo.

I sistemi di preparazione ad accumulo sono costituiti da un serbatoio contenente un volume d'acqua che viene riscaldato con continuità, impiegando potenze inferiori e tempi di funzionamento più lunghi rispetto ai sistemi istantanei. Tali sistemi richiedono un certo tempo di riscaldamento prima dell'erogazione, per portare l'acqua dell'accumulo alla temperatura desiderata; risultano perciò meno flessibili rispetto ai sistemi istantanei e sono in grado di soddisfare una domanda limitata di ACS prima di scaricare la propria capacità termica, tuttavia da un punto di vista energetico risultano maggiormente efficienti.

Nel presente lavoro si considereranno esclusivamente sistemi di preparazione dell'ACS ad accumulo. Nella pratica esistono due tipologie di accumuli termici: i sistemi a miscela e i termoaccumulatori.

Nel primo caso l'acqua fredda entra nel serbatoio di accumulo termico e si miscela con l'acqua presente precedentemente portata alla temperatura desiderata di stoccaggio. Nei termoaccumulatori, invece, l'acqua sanitaria non entra in contatto diretto con il contenuto dell'accumulo termico, ma viene riscaldata durante il passaggio attraverso un serpentino immerso.

In entrambi i casi il sistema si porta alla temperatura desiderata durante la fase di preriscaldamento, per poi cedere calore all'acqua in ingresso al serbatoio durante i periodi di richiesta da parte dell'utenza. A valle del serbatoio è sempre presente un miscelatore che garantisce di servire all'utenza acqua ad una temperatura conveniente, tipicamente 40°C, mentre la temperatura convenzionale all'interno dell'accumulo è di circa 60°C.

2. IL DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI PER LA PREPARAZIONE DI ACS

Nella prima fase dell'analisi sono state confrontate alcune metodologie in uso per il dimensionamento dei sistemi per la preparazione di ACS.

Il criterio guida è la norma nazionale UNI 9182 [2], che si applica agli impianti di alimentazione e distribuzione dell'acqua fredda e calda per gli usi igienici e alimentari e fornisce indicazioni sui criteri di progettazione, collaudo e gestione delle reti; in questa sede esso verrà indicato come metodo A.

La seconda metodologia presa in considerazione è un metodo di dimensionamento sviluppato all'interno dell'Università di Padova che suggerisce opportune modifiche [3], rispetto alla procedura della normativa, per correggere alcune semplificazioni relative al comportamento degli accumuli (metodo B).

Infine viene analizzata una metodologia di dimensionamento impiegata in ambito commerciale dai produttori di serbatoi termici e sistemi di generazione idrosanitaria (metodo C).

Nei paragrafi che seguono sono illustrate nel dettaglio le procedure di calcolo seguite per il dimensionamento dei sistemi di preparazione dell'ACS nel caso di un'utenza monofamiliare e per un impianto centralizzato al servizio di un complesso di 5 alloggi.

Per maggiore chiarezza sono presentati gli sviluppi numerici delle tre procedure per il caso di un edificio residenziale, monofamiliare, dotato di due servizi. Il numero di apparecchi sanitari installati e le loro caratteristiche sono presentati in tabella 1.

2.1. Metodo A: la procedura di dimensionamento secondo la normativa UNI 9182

La sezione 9 della norma UNI 9182 tratta la preparazione e la distribuzione dell'acqua calda sanitaria per edifici ad uso abitativo e ad uso collettivo quali: uffici, alberghi, ospedali, scuole, ecc. Descrive la metodologia per il calcolo del fabbisogno per persona e per tipologia di utenza, e la

procedura per il dimensionamento del volume di accumulo e della potenza termica necessaria alla preparazione di tale fabbisogno nelle condizioni convenzionali (temperatura in acquedotto di 15°C e temperatura di utilizzo 40°C).

Tabella 1: dotazione di apparecchi sanitari per il caso di studio monofamiliare

Apparecchio	Numero apparecchi	litri/utilizzo
Vasca da bagno 170 x 70	1	200
doccia	1	90
lavabo	3	12
bidet	2	10
Lavello da cucina	1	20

Il primo passo consiste nello stimare il consumo di ACS dell'utenza servita. La norma indica come determinare il fabbisogno di acqua calda sanitaria sulla base della tipologia di utenza e fornisce i consumi di acqua sanitaria in litri giorno a persona e in litri per utilizzo per ogni singolo apparecchio, tuttavia nessuna indicazione è data per quanto riguarda il profilo di carico. I valori estratti dalla normativa per quanto riguarda le utenze residenziali sono riportati nelle tabelle 2 e 3.

Ogni sistema di preparazione dell'acqua calda sanitaria deve essere in grado di fornire acqua alle utenze alla temperatura di 40 °C per tutto il tempo necessario. In particolare si ha la certezza di dimensionare correttamente il sistema quando esso è in grado di fare fronte all'esigenza del periodo di punta. Il consumo di acqua calda sanitaria, infatti, non è ripartito uniformemente nel corso di una giornata, ma

Tabella 2: fabbisogno di ACS in litri per persona al giorno per utenze residenziali

Utenza	litri/ persona giorno
Abitazioni popolari	40 – 50
Abitazioni di tipo medio	70 -80
Abitazioni di lusso	150 - 200

Tabella 3: fabbisogno di ACS in litri per singolo utilizzo dei vari apparecchi sanitari

Apparecchio	litri/utilizzo	Portata l/s
Vasca da bagno 170 x 70	160 – 200	0.20
doccia	50 – 60	0.15
lavabo	10 – 12	0.10
bidet	8 – 10	0.10
Lavello da cucina	15 – 20	0.20

risulta concentrato in intervalli temporali di durata limitata, definiti periodi di punta. Nei periodi di punta si verifica il massimo consumo contemporaneo di acqua calda, per cui l'impianto di preparazione di ACS deve essere in grado di soddisfare tale necessità.

La durata del periodo di punta è legata alle abitudini dell'utenza, e alla destinazione d'uso dell'edificio in esame: per utenze residenziali fino a 4 vani la norma indica un

periodo variabile tra le 2 e le 2,4 ore; mentre per abitazioni di maggiori dimensioni suggerisce di considerare 3 ore.

Una volta noto il periodo di punta e il fabbisogno di acqua calda sanitaria, secondo la normativa è possibile calcolare il consumo massimo orario contemporaneo, ovvero la massima portata di ACS che il sistema deve essere in grado di fornire all'utenza, parametro che influenza la dimensione dell'accumulo e la potenza dell'impianto.

Il massimo consumo orario contemporaneo è definito dall'Eq. (1) come:

$$q_M = \left(\frac{q_1 \cdot N_1}{d_1} + \frac{q_2 \cdot N_2}{d_2} + \dots + \frac{q_n \cdot N_n}{d_n} \right) f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1)$$

dove

q_M è il consumo massimo orario contemporaneo [l/h];

q_i è il consumo dell'i-esimo apparecchio sanitario [l/utilizzo];

N_i è il numero di apparecchi sanitari dello stesso tipo in funzione nel periodo di punta;

d_i è la durata del consumo dell'i-esimo apparecchio [h];

f_1 è un coefficiente correttivo che riduce il valore della portata massima contemporanea all'aumentare del numero di alloggi serviti dal sistema di preparazione (per tener conto che all'aumentare del numero di utenti diminuisce la probabilità di una richiesta contemporanea);

f_2 considera il numero di vani di ogni alloggio ed è quindi legato alle dimensioni dell'utenza;

f_3 è un coefficiente correttivo che considera il tenore di vita degli utenti di ogni abitazione; il valore aumenta all'aumentare del tenore di vita, seguendo il principio che all'aumentare delle condizioni economiche degli utenti aumenti anche il consumo di ACS e quindi la portata massima contemporanea richiesta.

I valori da attribuire ai coefficienti f_1 , f_2 , f_3 sono indicati nella normativa UNI 9182 in appendice F.

Il calcolo del consumo massimo orario contemporaneo per il caso in esame richiede di ricavare le durate di utilizzo di ogni apparecchio sanitario e di stimare il numero di utilizzi durante il periodo di punta. I valori da utilizzare nell'Eq. (1) sono indicati in tabella 4, assieme ai valori per i coefficienti correttivi e della durata del periodo di punta estratti dalla normativa.

Con i dati a disposizione e le ipotesi eseguite risultano un consumo globale nel periodo di punta di 386 litri e un consumo massimo orario pari a 185 litri.

Il dimensionamento del serbatoio di accumulo termico è operato in relazione al fabbisogno totale di acqua durante il periodo di punta, alla durata del periodo di riscaldamento, alle temperature dell'acqua fredda, dell'acqua calda erogata e dell'acqua contenuta nell'accumulo.

La norma UNI 9182 fissa i criteri minimi di progettazione degli impianti sanitari, e suggerisce l'Eq. (2) per il calcolo del volume del bollitore

$$V_c = \frac{q_M \cdot d_p (T_m - T_f)}{d_p + d_r} \cdot \frac{d_r}{T_c - T_f} \quad (2)$$

dove:

V_c è il volume calcolato per il bollitore [l]

q_M è il consumo orario di acqua calda sanitaria [l/h]

T_f è la temperatura dell'acqua prelevata dall'acquedotto [°C]

T_m è la temperatura dell'acqua erogata all'utenza [°C]

T_c è la temperatura dell'acqua contenuta nell'accumulo [°C]

d_p è la durata del periodo di punta [h]

d_r è la durata del periodo di riscaldamento [h]

Tabella 4: calcolo del consumo orario massimo per il caso di studio secondo la norma UNI 9182

Apparecchio	litri/utilizzo	durata di un utilizzo [min]	Numero di utilizzi in d_p
Vasca 170 x 70	200	16.8	1
Doccia	90	10	1
Lavabo	12	2	1
Bidet	10	1.7	1
Lavello da cucina	20	1.7	2
Coefficienti correttivi	$f_1=1.15$	$f_2=1$	$f_3=1$
Durata periodo di punta	2,4 ore		
Consumo nel periodo di punta, C	386 litri		
Massimo consumo orario	$q_M = 185$		

Noto il volume di accumulo necessario a soddisfare la domanda di ACS dell'utenza, la norma stabilisce nell'Eq. (3) il criterio per determinare la potenza termica del serpentino riscaldante immerso nell'accumulo:

$$P = \frac{q_M \cdot d_p (T_m - T_f)}{d_p + d_r} \cdot 1,163 \quad (3)$$

Per quanto riguarda il caso studio in tabella 5 sono riportati i parametri e i risultati del calcolo del volume di accumulo e della potenza riscaldante.

Tabella 5: risultati del metodo A applicato al caso di studio.

Temperatura mandata T_m	40 °C
Temperatura immissione T_f	10 °C
Periodo di preriscaldamento	1 h
Temperatura di accumulo T_c	60 °C
Volume del bollitore V_c	78.3 l
Potenza termica da installare	4555 W

2.2. Il metodo B: la procedura suggerita da Mariotti e Gambelli

Il metodo di dimensionamento Mariotti-Gambelli [3] riconosce, nella procedura indicata dalla normativa in vigore, dei limiti dovuti al carattere prettamente teorico delle equazioni (2) e (3), le quali non considererebbero fenomeni propri del funzionamento reale dei serbatoi, e condurrebbero al sottodimensionamento dei sistemi di preparazione di ACS.

Le modifiche proposte si basano sulla considerazione che un corretto bilancio di energie, calcolato rispetto al volume di accumulo termico, dovrebbe considerare i seguenti contributi:

- l'energia entrante nel sistema durante il periodo di punta
- l'energia accumulata nel bollitore alla temperatura media T_c
- l'energia fornita dallo scambiatore nel periodo di punta
- l'energia accumulata a fine scarica alla temperatura media T_f
- l'energia uscente alla temperatura T_u nel periodo di punta

Quindi il volume dell'accumulo e la potenza termica possono essere calcolati, secondo tale metodo, per mezzo delle relazioni (4) e (5) :

$$V = C \cdot (T_u - T_a) / (T_c - T_f) - P \cdot d_p / (T_c - T_f) \quad (4)$$

$$P = C \cdot (T_u - T_a) / (d_p + d_r) \quad (5)$$

dove :

V è il volume dell'accumulo [l]

P è la potenza termica per preparare l'ACS [kcal/h]

C è il consumo di ACS durante il periodo di punta [l]

T_u è la temperatura di utilizzo dell'ACS [°C]

T_a è la temperatura dell'acqua nell'acquedotto [°C]

T_c è la temperatura dell'acqua nel serbatoio al termine del periodo di preriscaldamento [°C]

T_f è la temperatura dell'acqua nel serbatoio al termine del periodo di punta [°C]

L'equazione (4) equivale a quella indicata dalla normativa, se la temperatura media nell'accumulo al termine del periodo di punta coincide con la temperatura dell'acquedotto $T_f = T_a$. Tuttavia in generale i due valori sono differenti.

Per evidenziare lo scostamento tra il risultato fornito dimensionando il sistema secondo la norma e applicando il metodo Mariotti-Gambelli è necessario analizzare nel dettaglio il processo di scarica della capacità termica dell'accumulo. Sono riportate di seguito le relazioni generali e l'analisi applicata al caso studio, sulla base dei parametri indicati in tabella 6.

Tabella 6: parametri per il metodo B applicato al caso di studio

Consumo totale di punta, C	386 l
Periodo di punta, d_p	1.5 h
Periodo di preriscaldamento, d_r	1 h
Temperatura mandata, T_m	40 °C
Temperatura immissione, T_a	10 °C
Temperatura di accumulo, T_c	60 °C

- la portata media nel periodo di punta

$$G_m = C / d_p \quad (6)$$

- la portata media effettivamente uscente dal serbatoio G_b , a monte della miscelazione con acqua fredda

$$G_b = G_m (T_m - T_a) / (T_c - T_a) \quad (7)$$

- la potenza termica dello scambiatore, assumendo un tempo di preriscaldamento di 1 h

$$P = C (T_m - T_a) / (d_p + d_r) \quad (8)$$

- l'incremento di temperatura dell'acqua di acquedotto dovuto al lambire la superficie dello scambiatore di calore, valutato alla portata media:

$$\Delta T_a = P / (G_b) \quad (9)$$

- il volume d'acqua di sostituzione presenta, in prima approssimazione, una temperatura media pari alla temperatura di acquedotto sommata all'incremento di temperatura, ΔT_a :

$$T_c = T_a + \Delta T_a \quad (10)$$

Il processo è ripetuto iterativamente fino a che l'n-esimo valore di T_c non diventa inferiore alla temperatura di utilizzo dell'acqua da parte dell'utenza.

La procedura di dimensionamento del metodo B applicata al caso studio mostra come al termine della prima scarica del serbatoio, la temperatura media nell'accumulo sia pari a 40°C, ovvero pari alla temperatura di utilizzo. Al termine di un'ipotetica seconda scarica del serbatoio la temperatura media dell'accumulo si porterebbe a 28 °C, troppo bassa per alimentare l'utenza. Ne consegue che in seguito alla prima scarica del serbatoio non si avrebbe a disposizione una capacità termica residua che possa soddisfare una successiva senza intervenire con un nuovo periodo di riscaldamento, per cui è possibile ritenere utile solo la portata effettivamente erogata durante la prima scarica, ovvero 154,4 litri. Infine è possibile calcolare il volume dell'accumulo tramite l'Eq. (4) avendo cura di inserire come temperatura dell'acqua nell'accumulo al termine del periodo di punta il valore T_{c2} appena calcolato. Il risultato è riportato in Tabella 7.

Rispetto al metodo suggerito dalla normativa, il fatto di ottenere una temperatura di fine scarica, T_f , sensibilmente maggiore della temperatura di acquedotto, T_a , implica uno sfruttamento del volume di accumulo nettamente inferiore, e in definitiva, per garantire il soddisfacimento dell'utenza, a parità di acqua utilizzata e potenza dello scambiatore, è necessario provvedere ad un volume maggiore.

Dato il consumo di punta C e il periodo di punta d_p è necessario calcolare:

Tabella 7: procedura di calcolo e risultati del metodo B per il caso di studio

prima scarica del serbatoio		
$T_c=60^{\circ}\text{C}$	$T_m=40^{\circ}\text{C}$	$T_a=10^{\circ}\text{C}$
G_m		257,3 l/h
$G_{b1} - 1^a \text{ scarica}$		154.4 l/h
P		4632 kcal/h
ΔT_a		30 °C
$T_{c1} - 1^a \text{ scarica}$		40°C
seconda scarica del serbatoio		
$T_c=40^{\circ}\text{C}$	$T_m=40^{\circ}\text{C}$	$T_a=10^{\circ}\text{C}$
G_m		257.3 l/h
$G_b - 2^a \text{ scarica} = G_m$		257.3 l/h
P		4632 kcal/h
ΔT_a		18 °C
$T_{c2} - 2^a \text{ scarica}$		28°C
Volume calcolato per l'accumulo termico		
$V \text{ con } T_f=T_{c2}$		144.6 l
$V \text{ corretto}$		198.6 l

Fino ad ora è stata analizzata una procedura correttiva per stimare la perdita di volume utile dovuta ai meccanismi di scambio termico all'interno del serbatoio, tuttavia esistono altri fattori da considerare per dimensionare in modo realistico la capacità necessaria per l'accumulo:

- la stratificazione, dovuta alla dipendenza dalla temperatura della densità del fluido, rende imprecisa l'assunzione di una temperatura omogenea del volume di accumulo all'inizio del periodo di prelievo. La differenza del valore reale dalla temperatura imposta dal generatore di calore dipenderà dalla posizione della sonda di regolazione. Un opportuno valore per il coefficiente correttivo che esprime la perdita di volume utile è indicato in $f_v=0,9$
- la regolazione del sistema di generazione termica è operata tipicamente mediante un controllo on-off applicando un differenziale tra la temperatura minima e massima rilevata dalla sonda. Se l'inizio del periodo di prelievo coincide con un minimo del differenziale termico consentito, il sistema rende disponibile una capacità termica inferiore rispetto al caso ottimale; questo aspetto può essere valutato attraverso un fattore di correzione espresso nell'Eq. (11):

$$f_t = (1 - \text{Diff}/(T_c - T_a)) \quad (11)$$

dove

Diff rappresenta il differenziale impostato per il termostato.

Nel caso di studio, supponendo un differenziale di 5 °C, si ottiene per il coefficiente correttivo f_t il valore di 0,9.

- il funzionamento dell'accumulo termico ideale presuppone inoltre che l'acqua fredda proveniente dall'acquedotto entri nel serbatoio con un moto a pistone, mentre nel caso reale essa è soggetta a un fenomeno di miscelazione che può essere stimato introducendo un ulteriore fattore correttivo f_m valutato pari a 0,9.

Quindi, applicando le correzioni citate al volume calcolato in precedenza, per garantire all'utenza termica la portata d'acqua richiesta alla temperatura desiderata risulta necessario un volume di accumulo pari a 199 litri.

2.3. Il metodo C: il dimensionamento secondo la guida Caleffi

Nella pratica industriale si utilizzano metodi di dimensionamento empirici e più semplificati rispetto ai precedenti. Il metodo probabilmente più conosciuto e seguito è proposto dalla Guida Caleffi [4]. Si tratta, anch'essa come le precedenti, di una procedura di calcolo, basata sul bilancio termico valutato al volume di accumulo, per stimare la capacità termica da immagazzinare per soddisfare la domanda di ACS dell'utenza.

I parametri necessari al dimensionamento sono tabulati in funzione della destinazione d'uso dell'edificio: sono indicati il consumo globale durante il periodo di punta, la temperatura di utilizzo dell'acqua, la durata del periodo di punta e la durata del periodo di preriscaldamento. Per le utenze residenziali un estratto di tali parametri è riportato in Tabella 8 [5].

Tabella 8: parametri per il dimensionamento secondo il metodo Caleffi

Consumo di ACS in edifici residenziali nel periodo di punta					
- C per ogni alloggio con 1 servizio		260 l			
- C per ogni alloggio con 2 servizi		340 l			
Temperatura di accumulo, T _c				60 °C	
Temperatura di utilizzo, T _m				40 °C	
Temperatura di acquedotto, T _a				10 °C	
Periodo di punta, d _p				1.5 h	
Periodo di preriscaldamento, d _r				2.0 h	
Fattore di contemporaneità,F in funzione del numero di alloggi,n					
n	1-5	6-12	13-20	21-30	31-45
F	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

La procedura di calcolo semplificato prevede di valutare:

- l'energia termica necessaria a riscaldare la portata d'acqua richiesta durante il periodo di punta:

$$E_{dp} = C (T_m - T_a) \quad (12)$$

- la potenza termica che deve essere ceduta all'acqua nell'arco di tempo che comprende il periodo di riscaldamento e il periodo di punta:

$$P_{dt} = E_{dp} / (d_r + d_p) \quad (13)$$

- l'energia termica da accumulare durante la fase di preriscaldamento

$$E_a = P_{dt} d_r \quad (14)$$

- il volume dell'accumulo:

$$V = E_a / (T_c - T_a) \quad (15)$$

mentre la potenza dell'apparecchio di generazione termica è calcolata con la medesima Eq. (16) proposta dalla norma UNI 9182:

$$P = \frac{q_M \cdot d_p (T_m - T_f)}{d_p + d_r} \cdot 1,163 \quad [\text{W}] \quad (16)$$

dove il prodotto $q_M \cdot d_p$ coincide evidentemente con il consumo C durante il periodo di punta.

Il metodo di calcolo C applicato al caso di studio conduce ai risultati espressi in tabella 9.

Tabella 9: procedura di calcolo e risultati del metodo C applicata al caso studio

Energia termica nel periodo di Punta E_{dp}	11.86 kWh
Potenza termica P_{dt}	3390 W
Energia termica da accumulare E_a	6.8 kWh
Volume V	117 l
Potenza termica da installare P	3390 W
Volume uniformato V'	113 l
Potenza termica uniformata P'	4745 W

Per poter confrontare il risultato ottenuto con quello fornito dal metodo B, la procedura è stata ripetuta anche considerando un tempo di preriscaldamento di 1 ora. I risultati sono presentati in tabella 9 e indicati come volume e potenza uniformati mentre nel riepilogo di tabella 10 sono presentati con la voce metodo C_{unif} .

2.4. Confronto dei risultati dei diversi metodi di dimensionamento

Il confronto dei metodi di dimensionamento descritti, riportato in tabella 10, può essere effettuato esclusivamente in maniera qualitativa, poiché essi fanno riferimento a parametri differenti, come le durate dei periodi di punta e preriscaldamento, oppure come gli stessi consumi complessivi nel periodo di massimo prelievo. I risultati ottenuti sono molto variabili da metodo a metodo, e non conducono ad un dimensionamento univoco. Tuttavia è possibile trarre alcune considerazioni:

- il metodo A fornisce il minimo valore per il volume di accumulo, sovrastimando rispetto agli altri metodi la capacità termica che il serbatoio è in grado di cedere all'utenza;
- il metodo B, al contrario, fornisce il massimo valore per il volume dell'accumulo e per la potenza dell'apparecchio di generazione termica, come conseguenza dell'elevato dettaglio con cui considera le dinamiche del comportamento dell'accumulo durante le fasi di cessione termica e l'insorgenza di fenomeni che si discostano da un comportamento ideale;
- Il metodo C indica un volume d'accumulo che media tra i valori delle altre due procedure, ma tuttavia sottostima notevolmente la potenza termica, rispettivamente del 25% rispetto al metodo A e del 40% rispetto al metodo B.

- il metodo C_{unif} uniformato al metodo B, ovvero applicato al caso studio imponendo un tempo di preriscaldamento di un'ora, fornisce dei valori molto inferiori rispetto alla procedura B, soprattutto per il volume di accumulo; essi sono invece in linea con il metodo A, pur operando con una durata del periodo di punta di solo 1,5 ore.

Tabella 10: Riepilogo dei risultati per il dimensionamento del caso studio

METODO	A	B	C	C_{unif}
Consumo di punta [l]	386	386	340	340
Periodo di punta [h]	2,4	1,5	1,5	1,5
Periodo di riscaldamento [h]	1	1	2	1
Volume accumulo [l]	78	199	117	82
Potenza termica [W]	4555	5386	3390	4745

3. SIMULAZIONE DINAMICA DI SISTEMI PER LA PREPARAZIONE DI ACS

La seconda fase del lavoro consiste nell'analisi dinamica del comportamento di sistemi ad accumulo per la preparazione di ACS, al fine di determinare le condizioni minime per quanto riguarda il volume di accumulo e la potenza installata che garantiscono di soddisfare la domanda dell'utenza.

Il software utilizzato è il codice di calcolo commerciale TRNSYS. Sono stati modellati in modo semplificato gli impianti tecnici per la preparazione di ACS al servizio di un'abitazione monoresidenziale e di un complesso abitativo di cinque alloggi, dotato di un impianto centralizzato.

Il modello semplificato considera il generatore di calore, il serbatoio di accumulo, la rete di adduzione dell'acqua fredda dall'acquedotto e il circuito preposto ad immettere nell'accumulo la quantità d'acqua necessaria a fornire, previa miscelazione con la portata fredda, la quantità di ACS desiderata, alla temperatura richiesta dall'utenza.

La funzione forzante dell'analisi è il profilo di carico dell'utenza termica, mentre il volume, la tipologia dell'accumulo e la potenza termica del generatore di calore sono parametri che vengono imposti, salvo poi risultare errati o insufficienti nel caso la simulazione dimostri che la richiesta sanitaria non sia soddisfatta.

3.1. Il profilo di carico

Nell'analisi del caso studio monoresidenziale sono stati utilizzati due differenti profili di carico, mentre per lo studio del sistema centralizzato è stato tracciato un unico profilo costruito mediando le caratteristiche dei primi due, adattando i volumi d'acqua alla maggiore utenza e considerando i coefficienti correttivi, f_1 , f_2 e f_3 indicati dalla normativa per i sistemi centralizzati.

Il primo profilo per il sistema monofamiliare, indicato M, è costruito in modo teorico, presenta un periodo di massimo prelievo della durata di 1,5 ore ed un consumo nel periodo di 386 litri, in linea con il metodo di dimensionamento B. Sono ipotizzati inoltre dei prelievi di minore entità nell'arco della giornata, per un consumo giornaliero complessivo pari a 420 litri. Il dettaglio dei prelievi orari e la rappresentazione del profilo di carico M sono mostrati in tabella 10 e figura 1.

Tabella 11: profilo di carico M, portata di massimo carico costante durante il periodo di punta

Ore	litri/ora
7:00 - 7:05	150
12:00 - 12:10	60
13:00 - 13:10	80
19:30 - 21:00	257
consumo globale	421 litri/giorno

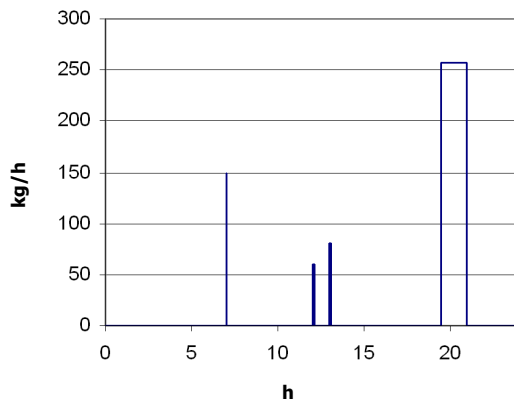


Figura 1: profilo di carico M

Il secondo, indicato come profilo R, è un profilo di carico reale, derivato da uno studio congiunto delle università di Praga, Leicester e Bedford [6], caratterizzato da un consumo giornaliero di 320 litri. Il dettaglio dei prelievi orari e la rappresentazione del profilo di carico R sono mostrati in tabella 13 e figura 2.

I profili di carico descritti sono giornalieri, e la simulazione dinamica è condotta su una giornata tipo e viene ripetuta per un numero di cicli sufficienti a garantire l'entrata a regime del sistema. Il periodo di simulazione complessivo è di 20 giorni, mentre il passo dell'analisi è di 5 minuti.

Per lo studio del sistema centralizzato è stato utilizzato il profilo presentato in tabella 13 e figura 3, indicato come profilo C.

h

Tabella 12: profilo di carico R, profilo di carico reale

Ore	litri/ora	Ore	litri/ora
5:00 - 5:05	96	16:30 - 16:40	150
6:00 - 6:05	24	19:00 - 19:10	840
7:00 - 7:05	480	19:10 - 19:15	12
7:05 - 7:10	72	19:15 - 19:20	72
7:30 - 7:35	480	20:00 - 20:05	120
8:30 - 8:35	120	20:05 - 22:15	0
12:00 - 12:10	150	22:15 - 22:20	84
consumo globale	320 litri/giorno		

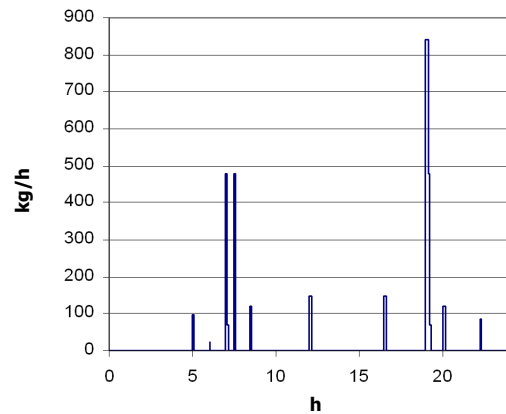


Figura 2: profilo di carico R

Tabella 13: profilo di carico C, profilo di carico per il sistema centralizzato

Ore	litri/ora	Ore	litri/ora
6:00 - 6:15	480	9:00 - 9:05	240
6:30 - 6:35	120	12:00 - 12:30	300
7:00 - 7:15	600	13:30 - 13:45	240
8:00 - 8:05	480	16:00 - 16:15	120
8:15 - 8:30	240	18:30 - 21:00	680
consumo globale	2340 litri/giorno		

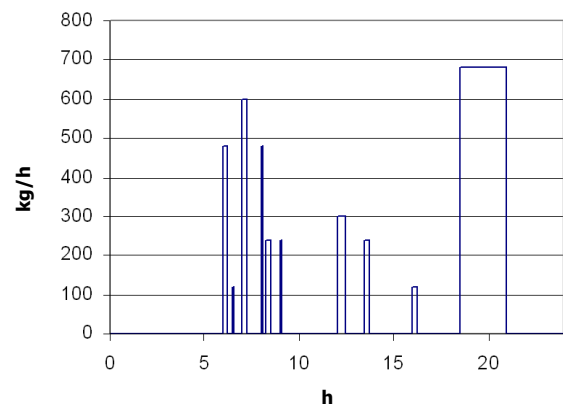


Figura 3: profilo di carico C

3.2. Il modello del serbatoio

Nell'analisi effettuata sono stati presi in considerazione sia accumuli termici a miscela sia termo accumulatori con scambiatori di calore immersi. Entrambe le tipologie sono state modellate per mezzo della type 534 [7], inclusa nelle librerie TESS per il codice TRNSYS. Questo strumento di modellazione è molto flessibile, descrive il serbatoio come un volume d'acqua cilindrico, ad asse verticale, racchiuso in un involucro metallico e rivestito di materiale isolante, del quale si possono implementare spessori e resistenza termica. Il serbatoio permette di predisporre un illimitato numero di

porte, ovvero ingressi ed uscite in acqua tecnica e un numero di scambiatori di calore a piacere, entrambi gli elementi sono posizionabili alla quota desiderata. Sono disponibili quattro tipologie di scambiatore di calore: a serpentino orizzontale, a bobina, a tubi orizzontali e a tubi verticali.

Per la risoluzione delle equazioni che descrivono i bilanci di massa e di energia all'interno dell'accumulo, il volume del serbatoio è suddiviso in un numero di sezioni verticali, chiamate nodi. Lo stesso procedimento è applicato al volume d'acqua contenuto in ognuno degli scambiatori immersi, e ad ogni nodo di un serpentino è associato il rispettivo nodo nell'accumulo. Per la descrizione matematica del modello e la risoluzione delle equazioni di bilancio si faccia riferimento al manuale di TRNSYS.

Per ogni tipologia di accumulo sono stati considerati serbatoi di taglia differente allo scopo di individuare al variare dell'utenza e della potenza del generatore di calore la dimensione ottimale.

Per il caso monoresidenziale sono stati implementati solo modelli di scambiatori a miscela, per i volumi di

100, 200, 300, 433 e 550 litri. Le taglie sono state scelte sulla base di componenti effettivamente reperibili sul mercato, e allo stesso modo le caratteristiche geometriche e gli isolamenti sono stati modellati in maniera conforme alla realtà.

Per l'analisi dell'impianto centralizzato sono stati modellati:

- 4 serbatoi a miscela, di taglia pari a 550, 716, 890 e 980 litri;
- 6 termo accumulatori con scambiatori a bobina di taglia pari a 530, 650, 798, 970, 1239 e 1450 litri.

Le caratteristiche degli accumuli utilizzati nelle simulazioni dinamiche sono presentate nelle tabelle 14, 15 e 16.

3.3. Le simulazioni dinamiche per il caso monoresidenziale

L'obiettivo dell'analisi numerica del comportamento del serbatoio di accumulo consiste nel verificare, per una data potenza termica, quale sia il volume minimo necessario a soddisfare la richiesta di ACS dell'utenza, quando la temperatura dell'acqua in mandata sia mantenuta a 40 °C, come da normativa.

La simulazione è stata ripetuta per le taglie e le tipologie di serbatoi descritti in precedenza e per un range di potenze del generatore di calore pari a 5 kW, 7.5 kW, 10 kW e 12.5 kW; la portata d'acqua al primario e la temperatura di regolazione sono costanti e pari rispettivamente a 700 kg/h e 80°C. A partire dalla potenza termica risultante dal dimensionamento analitico visto al capitolo 2, il sistema di preparazione dell'ACS è sottoposto ai due profili di carico già presentati.

Tabella 14: caratteristiche del serbatoio a miscela di capacità pari a 100l

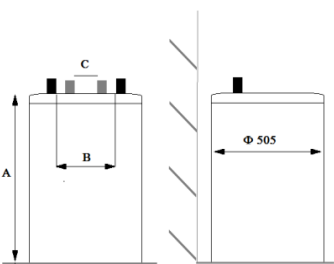
		100
	contenuto acqua bollitore [l]	100
	contenuto acqua serpentino [l]	5,8
	superficie di scambio [m ²]	0,8
	diametro [mm]	505
	A [mm]	915
	B [mm]	130
	C [mm]	230

Tabella 15: caratteristiche geometriche dei serbatoi a miscela impiegati nell'analisi dinamica

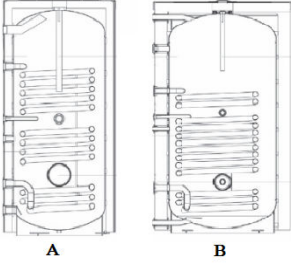
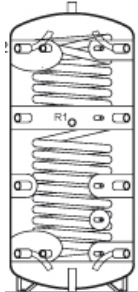
		A				B		
	TAGLIA	200	300	433	550	716	890	980
	contenuto acqua bollitore [l]	203	298	433	546	716	875	980
	Diametro [mm]	500	500	650	650	790	790	850
	altezza con isolamento [mm]	1300	1800	1605	1950	1870	2195	1727
	spessore isolamento [mm]	100	100	100	100	100	100	100
	contenuto acqua serpentino [l]	9,2	12,2	25,5	25,5	26,3	30,6	30,6
	superficie di scambio [m ²]	1,45	1,93	2,95	2,95	3,05	3,53	3,53
	diametro scambiatore	1"	1"	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4

Tabella 16: caratteristiche geometriche dei serbatoi termoaccumulatori impiegati nell'analisi dinamica

	TAGLIA	530	650	798	970	1239	1450
	contenuto acqua bollitore [l]	530	650	798	970	1239	1450
	diametro [mm]	650	790	790	790	1000	1000
	altezza con isolamento [mm]	1740	1562	1862	2180	1842	2092
	spessore isolamento [mm]	100	100	100	100	100	100
	contenuto ACS serpentino [l]	25	12,2	18	32	23	24
	superficie di scambio [m ²]	5,7	2,5	3	7,3	3,8	4
	diametro scambiatore	1"	1"1/4	1"1/4	1"	1"1/4	1"1/4

Per ogni taglia del generatore di calore è stato testato ciascun accumulo termico tra quelli elencati: sono state calcolate le temperature interne del serbatoio, in corrispondenza dei diversi nodi in cui il volume d'acqua è stato discretizzato; sono state monitorate la temperatura dell'acqua in uscita dall'accumulo e la temperatura della mandata all'utenza.

La modellazione dell'accumulo termico prevede la sua suddivisione in elementi di pari volume, ottenuti sezionando idealmente il serbatoio per mezzo di un fascio di piani orizzontali. Ad ogni elemento è associato il nome di nodo ed essi vengono indicati secondo un'ordinazione numerica crescente a partire dalla sommità dell'accumulo fino alla base. In figura 4 è riportato a titolo esemplificativo l'andamento delle temperature all'interno di un serbatoio per uno dei casi testati. Appare evidente l'effetto di ogni prelievo sul profilo di temperatura: ad ogni richiesta di ACS si accompagna un reintegro nel serbatoio di acqua fredda che causa una diminuzione della temperatura complessiva di ogni nodo, tuttavia la capacità termica stoccata è sufficiente a soddisfare l'utenza, infatti la temperatura al nodo 1 (il nodo superiore), corrispondente alla mandata, è sempre maggiore della temperatura convenzionale di utilizzo. Le figure 5 e 6 mostrano le temperature minime di uscita dell'acqua sanitaria dall'accumulo; i valori sono forniti al variare della capacità del serbatoio e per una potenza imposta del generatore di calore. I diagrammi non mostrano l'intero campo di capacità testato per gli accumuli, e i risultati sono presentati a partire dal volume minimo testato sino a raggiungere la taglia necessaria a soddisfare l'utenza per tutto il periodo di analisi.

Dal confronto tra i diagrammi delle figure 5 e 6 appare evidente l'effetto del profilo di carico sulla taglia dell'accumulo necessaria a soddisfare la domanda di ACS: la suddivisione del consumo su un maggiore numero di prelievi di minore entità, permette un migliore utilizzo della capacità termica stoccata.

Dalle analisi effettuate utilizzando il profilo M, costruito interpretando la norma UNI 9182 (figura 5), per la potenza di 5 kW, indicata dal dimensionamento analitico dell'impianto, risulta che la capacità minima dell'accumulo adatta a coprire la domanda di acqua sanitaria dovrebbe essere superiore a 300 litri, ben maggiore di quanto valutato analiticamente. Solo aumentando la potenza del generatore di calore la taglia calcolata per l'accumulo termico si avvicina ai valori forniti dai metodi utilizzati.

Applicando il profilo di carico R, derivato dalla letteratura e costruito sulla base di dati reali, i risultati delle simulazioni dinamiche dimostrano una maggiore aderenza con quanto risulta dal dimensionamento analitico. In particolare, la

procedura B, che forniva una potenza di circa 5 kW e un volume pari a 199 litri, risulta verificata dall'analisi dinamica che indica per tale potenza installata un volume non inferiore a 190 litri. Risultano invece ancora insufficienti le indicazioni fornite dagli altri metodi.

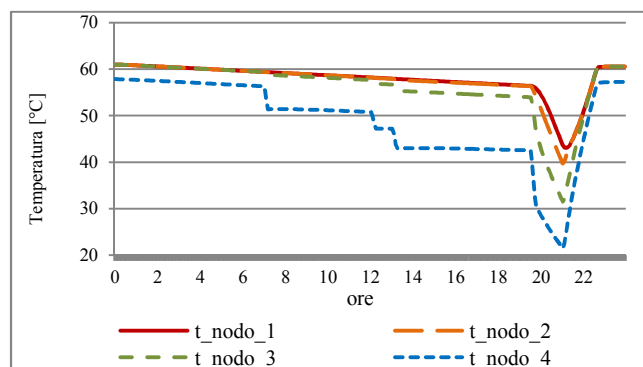


Figura 4: profilo di temperatura nell'accumulo di taglia 300l, generatore da 5 kW e profilo di carico M.

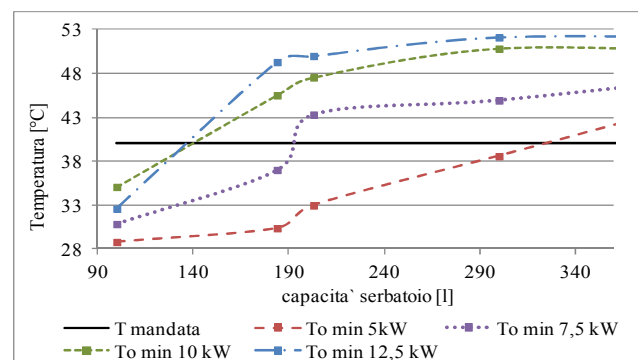


Figura 5: Temperatura d'uscita al variare del volume, fissata la potenza del generatore, per il profilo di carico M

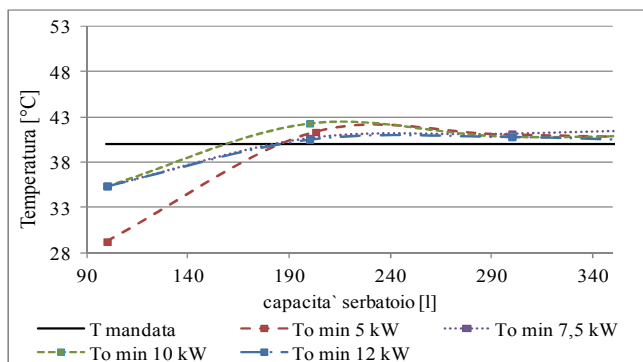


Figura 6: Temperatura d'uscita al variare del volume, fissata la potenza del generatore, per il profilo di carico R

L'analisi numerica ha permesso inoltre di analizzare il sistema da un punto di vista energetico. La figura 7 mostra l'andamento delle dispersioni termiche del serbatoio in funzione del volume del serbatoio per una fissata potenza del generatore di calore. Appare evidente come le perdite e quindi il consumo globale di energia aumentino al crescere del volume dell'accumulo a parità di potenza installata. L'aumento della potenza installata comporta a parità di volume una diminuzione della temperatura media dell'acqua stoccata, conseguentemente una riduzione delle perdite termiche dovute al serbatoio; tuttavia, quando il generatore è utilizzato anche ai fini del riscaldamento, sovradimensionare il generatore di calore comporta un rendimento globale stagionale inferiore.

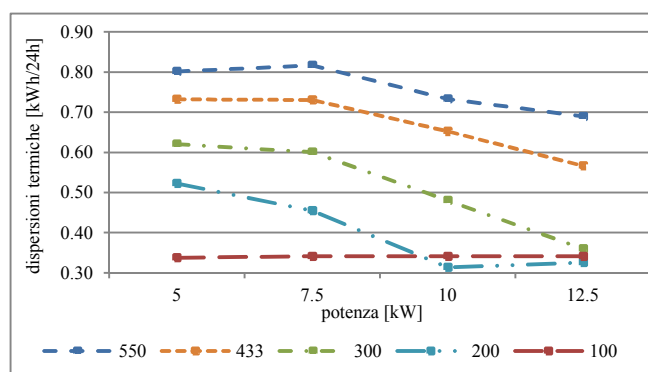


Figura 7: dispersioni termiche all'accumulo

3.4. Le simulazioni per il caso di studio centralizzato

I metodi di dimensionamento analitici presentati al capitolo 2 e applicati al caso dell'utenza plurifamiliare, descritta in precedenza, forniscono i risultati riportati in tabella 17.

Come per il sistema autonomo monofamiliare l'obiettivo dell'analisi consiste nel verificare per una data potenza termica quale sia il volume minimo necessario a soddisfare la richiesta di ACS dell'utenza, quando la temperatura dell'acqua in mandata sia mantenuta a 40 °C, come da normativa. Le analisi sono state effettuate modellando sia serbatoi a miscela sia termo accumulatori, consentendo di ottenere anche un confronto tra le prestazioni delle due tipologie di accumuli.

La simulazione è stata ripetuta per le taglie e le tipologie di serbatoi descritti in precedenza e per un intervallo di potenze del generatore di calore pari a 14,5 kW, 18 kW e 22 kW; la portata d'acqua al primario e la temperatura di regolazione sono costanti e pari rispettivamente a 1000 kg/h e 80°C.

Tabella 17: dimensionamento analitico del sistema centralizzato multi residenziale

METODO	A	B	C
consumo di punta [l]	1620	1620	1620
periodo di punta [h]	2.5	2.5	1.5
Periodo di riscaldamento [h]	2	1.5	2
Volume accumulo [l]	412	841	583
Potenza termica [W]	11970	14500	16950

L'andamento delle temperature minime di mandata nel periodo di punta permette di stabilire se il serbatoio sia sufficiente a soddisfare la richiesta termica dell'utenza; in particolare a parità di potenza termica l'analisi delle temperature di uscita dall'accumulo permette di operare un confronto tra serbatoi a miscela e termoaccumulatori, verificando quale sia il sistema che soddisfa l'utenza con minor volume installato.

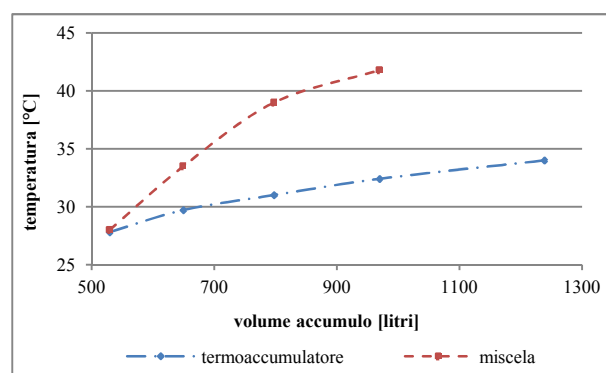


Figura 8: Temperatura minima in uscita dal serbatoio per un generatore di potenza pari a 14,5 kW al variare del volume, per il profilo di carico C

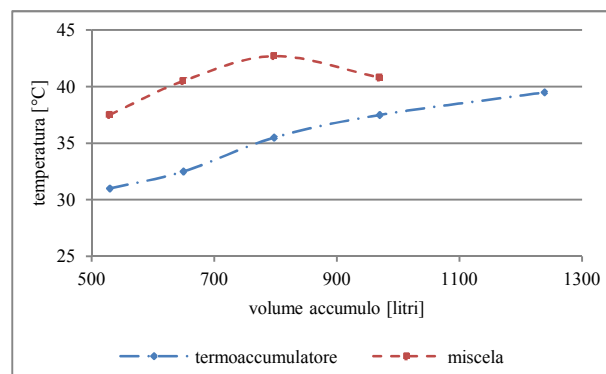


Figura 9: Temperatura minima in uscita dal serbatoio per un generatore di potenza pari a 18 kW al variare del volume, per il profilo di carico C

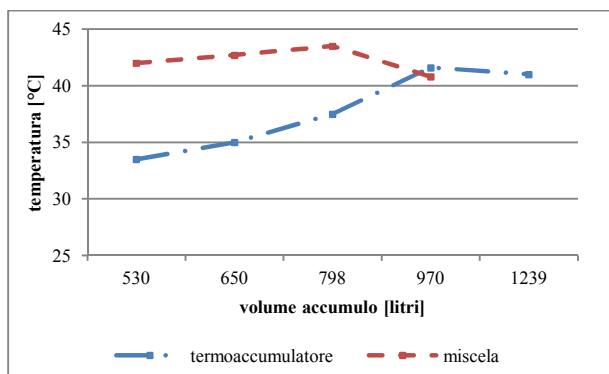


Figura 10: Temperatura minima in uscita dal serbatoio per un generatore di potenza pari a 22 kW al variare del volume, per il profilo di carico C

L'andamento dei grafici delle figure 8, 9 e 10 mostra come i serbatoi a miscela riescano a fornire, a parità di condizioni, ACS ad una temperatura maggiore rispetto ai termoaccumulatori, permettendo di installare capacità di accumulo inferiori e di contenere le perdite termiche. In particolare, il profilo di carico utilizzato risulta molto penalizzante per i sistemi termo accumulatori, che, solo in abbinamento a generatori di calore di potenza elevata sono in grado di soddisfare la domanda di ACS. L'utenza, infatti, risulta soddisfatta tramite un sistema termoaccumulatore solo per volumi maggiori di 900 litri e potenze installate non inferiori a 22 kW.

Le simulazioni effettuate sui serbatoi a miscela forniscono al contrario risultati coerenti con quanto ottenuto analiticamente. In figura 8 è mostrato come, per una potenza installata di 14.5 kW, l'analisi dinamica suggerisca di impiegare serbatoi a miscela di taglia superiore a 800 litri, in accordo con il metodo B, che individua, a parità di potenza, un volume minimo pari a 840 litri.

I metodi A e C risultano, come per il caso monoresidenziale, sottodimensionare le taglie dell'impianto e quindi condurre a un sistema non in grado di coprire il fabbisogno di acqua sanitaria dell'utenza.

4. CONCLUSIONI

In questa trattazione è stato analizzato il comportamento in esercizio di due tipologie di serbatoio di accumulo per ACS, a miscela e termoaccumulatore, a servizio di utenze di taglia differente.

Lo scopo dell'analisi è stato valutare, fissata la potenza termica installata, il volume necessario a soddisfare la richiesta di acqua a 40 °C dell'utenza per poter poi confrontare il risultato sperimentale con i valori teorici forniti dai metodi analitici di calcolo per il dimensionamento dei sistemi per la preparazione di ACS.

Per quanto riguarda i sistemi monoresidenziali le indicazioni fornite dai metodi di calcolo A e C sottodimensionano il volume dell'accumulo termico che in esercizio non risulta soddisfare la richiesta di ACS per i profili in esame; il metodo B risulta invece essere più preciso per

piccole utenze. L'analisi delle dispersioni termiche ha evidenziato come, a parità di potenza termica, sia conveniente installare il volume minimo necessario per soddisfare l'utenza in modo da ridurre la perdita di calore attraverso gli accumuli ed il consumo energetico alla caldaia. A parità di volume dell'accumulo è bene contenere la potenza del generatore di calore per garantire un maggiore rendimento globale di generazione dell'impianto.

L'analisi di un sistema centralizzato al servizio di cinque unità abitative ha mostrato come, a parità di potenza termica installata, il serbatoio a miscela permetta di ottenere temperature di mandata dell'ACS maggiori rispetto al termoaccumulatore, soddisfacendo l'utenza con minori capacità dei serbatoi e minori perdite. L'impianto dotato di termoaccumulatore richiede una spesa energetica maggiore e comporta temperature medie di accumulo superiori rispetto alla tipologia a miscela, con conseguente aumento delle perdite termiche.

Il calcolo teorico del volume di accumulo effettuato con il metodo B risulta corretto per la tipologia a miscela, mentre occorrerebbe un volume circa doppio in un sistema con termoaccumulatore. I metodi A e C sottostimano il sistema per entrambe le tipologie di accumuli, e le indicazioni che forniscono conducono ad un sistema insufficiente a soddisfare la richiesta di ACS.

In generale, le simulazioni condotte hanno sottolineato una certa sottostima dei metodi A e C; essi si basano sull'analisi energetica del serbatoio e considerano un funzionamento di tipo ideale, trascurando i fenomeni di perdita dovuti alla stratificazione, alla regolazione e alla miscelazione nella fase di ricarica e scarica del fluido. Il metodo più corretto risulta il metodo B, che tiene conto delle perdite all'interno del serbatoio e studia con più dettaglio il comportamento del volume di accumulo durante il periodo di massimo prelievo.

L'analisi compiuta mostra come sarebbe opportuno migliorare i metodi di calcolo analitici, specialmente nel caso di termoaccumulatori, poiché le procedure analizzate risultano applicabili con buon esito esclusivamente ai serbatoi a miscela, e non in tutti i casi. Occorre comunque precisare che sarebbe opportuno verificare i risultati ottenuti tramite i codici di calcolo, per mezzo di prove di laboratorio. Tali prove permetterebbero una più precisa taratura del modello dell'accumulo termico, permettendo di verificare le approssimazioni introdotte rispetto al comportamento dell'accumulo reale e quindi lo scostamento compiuto dall'analisi dinamica, e fornirebbero un'ulteriore validazione dei risultati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *TRNSYS 16 documentation*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2007
- [2] *UNI 9182. Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda – Criteri di progettazione, collaudo e gestione*, 2010.
- [3] Gambelli, Mariotti, *Produzione centralizzata di ACS*, Appunti per il corso di Termotecnica, Università degli studi di Padova
- [4] M. Dininelli, *Impianti idrosanitari*; Quaderni Caleffi

- [5] *Produzione di acqua calda ad accumulo*, Idraulica, pp 2-15, n 16, 1999
- [6] R. Spur, D. Fiala, D. Nevrala, D. Probert, *Influence of the domestic hot-water daily draw-off profile on the performance of a hot-water store*; Applied Energy 83, pp 749-773, 2006

- [7] *Type 534: vertically cylindrical storage tank with immersed heat exchanger*, TRNSYS TESS libraries documentation, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2007

SUMMARY

The present work aims to optimize the design of systems for the preparation of hot water (DHW) for dwelling houses. Based on what is indicated by Italian and European standard and on the solutions commonly adopted in the design practice the performance of different types of system were compared. Storage systems were compared to systems for instantaneous generation DHW. Were evaluated different sizes of system, for a single family houses and for a multi-residential building. Depending on the daily overall DHW requirements and the peak load the type of system most suitable has been detected and the calculation of the optimum volume of the storage tank and power plant design sizing was carried out according to standard. Each solution was evaluated by means of a dynamic analysis with the code TRNSYS.

Suitable DHW load profiles taken from practice and from literature were applied to the studied cases for a trial period long enough to guarantee the normal operation of the system. Through the dynamic simulation the design of facilities provided by the legislation for every mentioned subject have been verified. The results in some cases have confirmed the indications of the standard in others have shown a tendency to under-sizing of the systems. The dynamic analysis have allowed to determine the best solution among those analyzed, both in meeting the requests of the users, both in ensuring the least loss of energy, respecting the criteria of hygiene and safety that must be guaranteed when working with networks and storages of DHW.