

Nuovo approccio nella riqualificazione energetica degli edifici e nella loro gestione

MICHELE DE CARLI¹, ANDREA FANTE¹, STEFANO FAGANELLO², MASSIMO TONON³,
GIANLUCA TURCHETTO¹, PIETRO VERDERI¹, ALESSANDRO VOLPINI², ROBERTO BANFI⁴,
ROBERTO ZECCHIN¹

1 - Dipartimento di Fisica Tecnica, Università degli Studi di Padova

2 - ERRETIESSE S.p.A., Mareno di Piave (TV)

3 - LEDA S.r.l., Colle Umberto (TV)

4 - C. & B. Termotecnica, Cassano Magnago (VA)

RIASSUNTO

Il parco edilizio italiano presenta oltre diciassette milioni di edifici antecedenti alla Legge 373/76, privi pertanto di attenzione progettuale all'isolamento termico. In tali situazioni sarebbero auspicabili interventi sull'involucro edilizio, ma la riqualificazione comporta spesso interventi invasivi non tollerabili o incompatibili con la presenza degli utenti. Inoltre, ci si trova sovente al cospetto di edifici storici nei quali l'isolamento termico o la sostituzione dei componenti edilizi non è possibile. In questi casi una diversa gestione del complesso sistema edificio-impianto che prediliga un funzionamento continuo del medesimo, in abbinamento alla migliore tecnologia nella generazione del calore e ad una sua sapiente conduzione, può favorire l'ottenimento di un soddisfacente livello di comfort termico con minore impegno di potenza installata e, soprattutto, minore consumo di energia primaria.

Questo lavoro riporta il monitoraggio di un complesso edilizio sito in Gallarate (VA) che, a seguito di una corretta riqualificazione, ha conseguito risparmi dell'ordine di 45% sulla bolletta energetica ed una corrispondente riduzione dell'emissione di CO₂. Le misure effettuate ante- e post-operam hanno consentito di validare uno specifico modello funzionale dinamico dei generatori di calore mediante il quale si possono effettuare valutazioni generali sul risparmio e il comfort conseguibili in casi analoghi.

1. IL QUADRO NAZIONALE

1.1. Il patrimonio edilizio residenziale in Italia

L'Italia è un paese ricco di città con un patrimonio edilizio storico, costituito per la gran parte da immobili datati, la cui struttura edilizia è obsoleta e scarsamente isolata. Dei ventisette milioni di abitazioni censite dall'Istat nel 2001 (Figura 1), di cui quasi ventidue milioni occupate, su un totale di oltre undici milioni di edifici, il 37% (poco più di 10 milioni di abitazioni) è stato realizzato dall'immediato dopoguerra fino al 1971. In

Italia dunque tre alloggi su quattro sono stati edificati dopo il 1945, per metà dal 1946 al 1971, e per il rimanente 50% nel periodo tra il 1972 ed il 2001. La media di nuove abitazioni costruita successivamente si attesta tra 250000 e 300000 all'anno.

Da quest'analisi appare evidente come oltre diciassette milioni di abitazioni siano state edificate prima dell'avvento della legge 373/76, che finalmente introdusse un'attenzione progettuale al contenimento delle dispersioni energetiche.

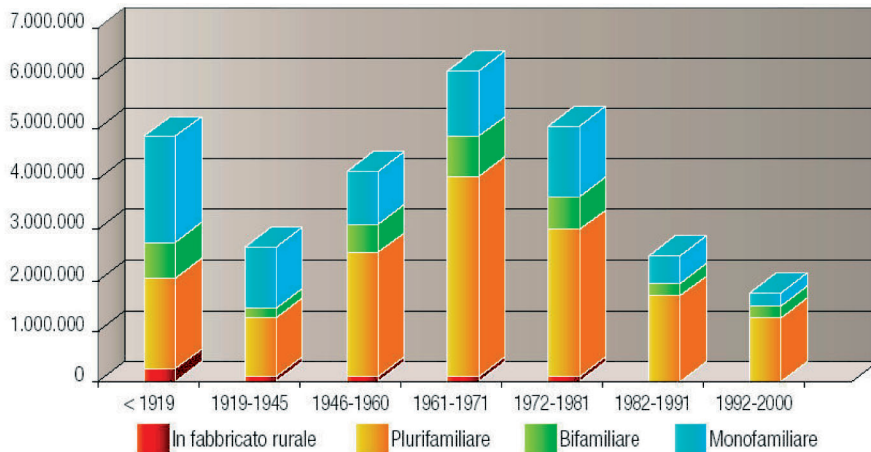


Fig. 1 - Numero e tipologia abitativa per epoca di costruzione (fonte: Istat 2001)

Dopo il boom delle costruzioni nel decennio 1961-71, che ha comportato la realizzazione di numerosi impianti centralizzati, si è osservato negli anni una loro riduzione, favorita anche dalla progressiva metanizzazione del nostro Paese. Dal 1992, anno di entrata in vigore del D.P.R. 412, numerosi impianti centralizzati sono stati inoltre trasformati in impianti autonomi, passando da una percentuale di 37% negli anni del boom economico fino al 84% nell'ultimo decennio (Figura 2). Nel nostro paese gli impianti di riscaldamento monofamiliari sono quattordici milioni, ben accettati dagli utenti finali, in quanto hanno introdotto il concetto di autonomia di esercizio, ma che spesso, a causa della loro inefficienza, conseguono un risparmio energetico solo attraverso una gestione molto spesso approssimativa e discontinua da parte dell'utilizzatore, che pregiudica il comfort. Ne consegue che un sistema basato su un impianto centralizzato, caratterizzato da una maggiore sicurezza ed efficienza globale, abbinato ad un sistema di contabilizzazione individuale dei consumi e ad un funzionamento continuo, può costituire la soluzione ideale, come sarà più oltre illustrato.

Oggi, grazie anche all'intervento delle nuove normative sull'efficienza energetica, questa consapevolezza è più diffusa e sta contribuendo a frenare quella che sembrava l'ascesa irreversibile degli impianti autonomi.

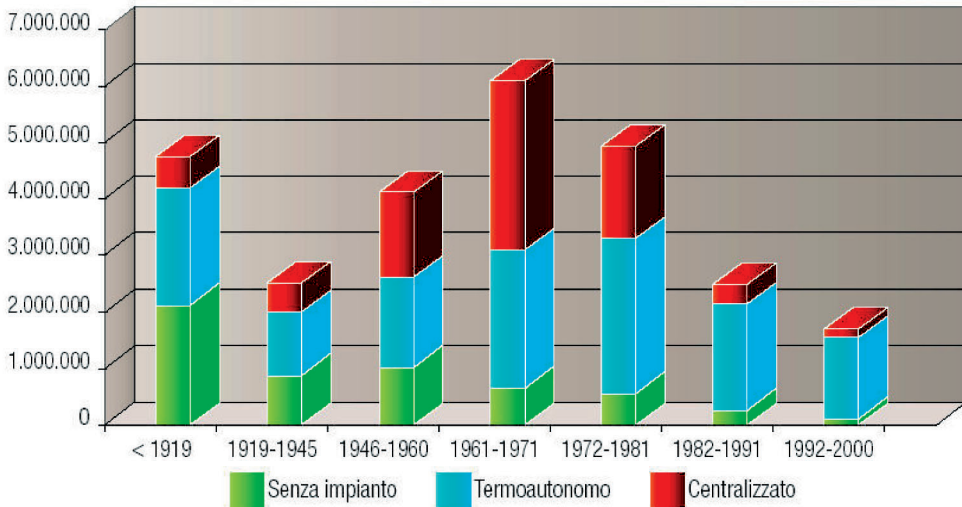


Fig. 2 - Numero e tipologia di impianti per epoca di costruzione (fonte: Cresme-Assotermica 2001)

1.2. Combustibili ed emissioni

Consumare meno energia significa notoriamente anche inquinare meno, obiettivo che, in abbinamento alla riqualificazione delle centrali, con il passaggio da combustibili molto inquinanti (gasolio, olio combustibile, ecc.) al gas naturale e all'utilizzo di tecnologie più pulite (bruciatori premiscelati a basse emissioni), può comportare una sostanziale riduzione degli agenti inquinanti riversati nelle nostre città dagli impianti termici. I dati riguardanti la CO₂ mostrano come ad esempio il riscaldamento residenziale contribuisca all'incirca per il 16% alle emissioni globali di tale inquinante, il 2% per la SO₂ ed il 3% per il CO. Inoltre, secondo il Comitato Termotecnico Italiano per la climatizzazione invernale con i soli interventi di riqualificazione degli impianti di riscaldamento e l'installazione di caldaie ad alto rendimento si potrebbe ottenere un risparmio annuo di energia primaria pari a 1,9 Mtep entro il 2010, con un conseguente contenimento di emissioni annue di CO₂ pari a 5,3 Mt.

Per quanto concerne i combustibili, si sta assistendo già da alcuni anni ad una diminuzione dell'impiego dei combustibili liquidi ed un incremento di quelli gassosi. E' in atto una sostanziale riqualificazione degli impianti termici che, anche se principalmente sospinta dall'incremento del costo del gasolio più che da un vero e proprio obiettivo ambientale, sta portando alla sostituzione dei combustibili più inquinanti con il gas naturale che copre già oltre il 70% dei fabbisogni. (Figure 3 e 4).

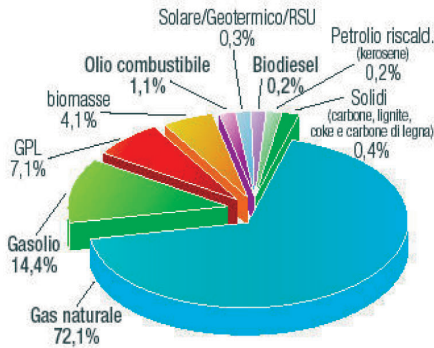


Fig. 3 - Combustibili impiegati nel settore civile in Italia (anno 2001)

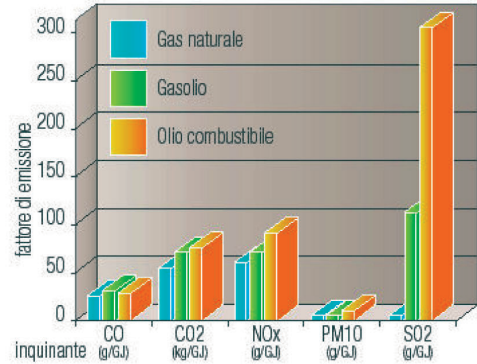


Fig. 4 - Fattori inquinanti per tipologia di combustibile (Fonte Corinair 2004)

1.3. Il contributo della tecnologia delle caldaie

Con l'emanazione del D.Lgs 192/05 e del successivo D.Lgs 311/06, per quanto riguarda la situazione legata alla generazione del calore, si è di fatto, puntato sull'uso di tecnologie più efficienti e quindi sull'ammodernamento di un parco di generatori di calore, esistenti nel nostro territorio, tra i più vecchi d'Europa, incentivandone la sostituzione con caldaie a condensazione caratterizzate da più elevati valori di rendimento. In particolare, le caldaie a condensazione "a quattro stelle" rappresentano oggi l'ultimo stadio di progresso nella combustione dei combustibili fossili (vedi Tab. 1).

Tab. 1 - Marcatura energetica di caldaie ad acqua calda secondo DIR 92/42/CE

	CALDAIE AD ACQUA CALDA	Requisito di rendimento energetico al 100% Potenza nominale P_n e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia di 70°C	Requisito di rendimento energetico al 30% Potenza nominale P_n e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia di >50°C
minimo	*	$\eta \geq 84 + 2^* \log P_n$	$\eta \geq 80 + 3^* \log P_n$
mercato	**	$\eta \geq 87 + 2^* \log P_n$	$\eta \geq 83 + 3^* \log P_n$
evoluzione	***	$\eta \geq 90 + 2^* \log P_n$	$\eta \geq 86 + 3^* \log P_n$
	****	$\eta \geq 93 + 2^* \log P_n$	$\eta \geq 89 + 3^* \log P_n$

Notevoli esperienze, maturate nella riqualificazione di impianti che prevedono la sostituzione del generatore di calore fine a se stessa, hanno dimostrato che il solo miglioramento tecnologico non basta. Adottare generatori di calore più moderni sicuramente comporta un aumento dell'efficienza del processo di generazione del calore, ma questo incremento è comunque limitato se non si interviene con un'azione sinergica che interessi l'edificio nel suo complesso, passando per l'impianto e la sua gestione. Chiave

di volta di questi benefici è la modalità continua di gestione e regolazione degli impianti che, non solo permette l'ottenimento di un più elevato grado di comfort (l'edificio è costantemente mantenuto a temperatura confortevole), ma pone contestualmente le condizioni affinché i generatori di attuale produzione vedano esaltate le loro caratteristiche di efficienza (condensazione continua per l'intera stagione di riscaldamento e rendimenti stagionali superiori a 100%, riferiti al potere calorifico inferiore) anche in impianti nei quali l'unico intervento possibile è la sostituzione della caldaia, come dimostra questo studio.

2. ATTUALI TENDENZE NELLA GENERAZIONE DEL CALORE

2.1. Considerazioni generali

Nei generatori di calore il trasferimento dell'energia termica prodotta dalla combustione al fluido termovettore, può essere più o meno efficiente secondo le modalità di scambio termico e la capacità di limitare le perdite del generatore stesso.

Per elevare le prestazioni energetiche di una caldaia risulta fondamentale la riduzione delle perdite sia per irraggiamento sia al camino. L'evoluzione tecnologica ha portato alla realizzazione di caldaie in grado di limitare al massimo questi fattori di perdita.

La riduzione delle perdite al camino è stata conseguita attraverso la riduzione della temperatura dei prodotti della combustione, passando da oltre 200°C nelle caldaie convenzionali a circa 120°C nei generatori ad alto rendimento, a 50°C per un generatore a condensazione; al di sotto quindi temperatura di rugiada dei fumi, con conseguente elevato recupero del loro calore sensibile e parziale recupero del calore latente.

La diminuzione delle perdite al mantello è stata conseguita attraverso l'incremento del grado di isolamento del mantello e la riduzione della temperatura di esercizio del fluido termovettore, grazie ad un ideale controllo climatico e all'abbinamento ad unità terminali operanti a media o bassa temperatura.

La Figura 5 illustra l'evoluzione del rendimento dei generatori di calore in funzione della riduzione della temperatura dei prodotti della combustione.

La temperatura del fluido termovettore influenza anch'essa il rendimento di un generatore di calore, come illustrato in Figura 6, dove si vede che, per i generatori a condensazione, il rendimento utile tende a crescere al diminuire della temperatura dell'acqua di ritorno, poiché un abbassamento della temperatura dell'acqua di ritorno provoca una corrispondente riduzione della temperatura dei fumi e quindi un maggior recupero energetico, grazie al calore latente di condensazione.

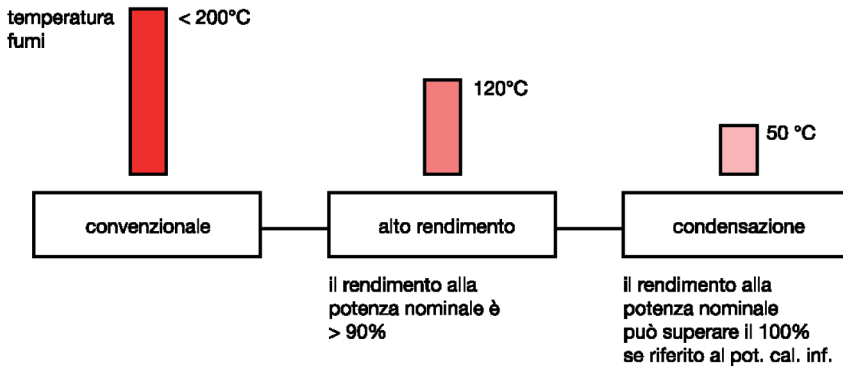


Fig. 5 - Tipologia di caldaie e loro rendimento in funzione della temperatura dei fumi [1]

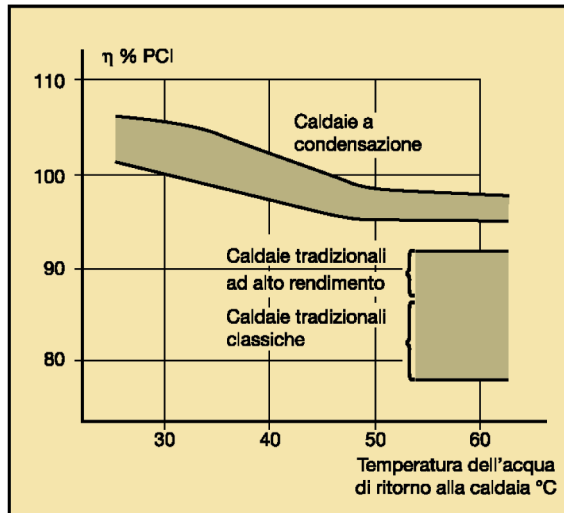


Fig 6 - Tipologia di caldaie e loro rendimento in funzione della temperatura di ritorno della caldaia [1]

2.2. Le caldaie a condensazione

Il funzionamento della caldaia a condensazione si basa quindi sul raffreddamento spinto dei fumi prima della loro espulsione, messo in atto grazie a speciali scambiatori di calore, realizzati con elevate superfici di scambio e costruiti con materiali nobili, inattaccabili dalla condensa acida che si viene a formare nel momento del cambiamento di stato vapore-liquido dell'acqua contenuta nei fumi. Il calore latente di vaporizzazione consente, con il suo recupero, di utilizzare l'energia che solitamente nei normali processi di combustione viene persa al camino con i fumi a temperature più elevate [2, 3].

Considerando che dalla combustione di 1 kg di metano, si ottengono 2,2 kg di vapor d'acqua e che il PCI del metano è pari a 34.500 kJ/Sm³, si ottengono, per ogni m³

di gas combustibile, circa 4000 kJ di calore latente. Le caldaie tradizionali, per tecnologia costruttiva, non risultano concepite per resistere all'azione corrosiva della condensa e pertanto non consentono in condizioni operative normali il recupero del calore latente dei fumi, perdendo, nel caso del metano, fino all'11% dell'energia resa disponibile dalla combustione.

Per contribuire a chiarire le principali differenze energetiche che si possono riscontrare nel funzionamento di un generatore di calore con o senza l'apporto del calore latente di condensazione, si riporta la Figura 7 che rappresenta il diagramma dei flussi energetici teorici e reali, derivanti da un processo in assenza di condensazione (area rossa) e una invece comprendente anche il recupero latente (area blu).

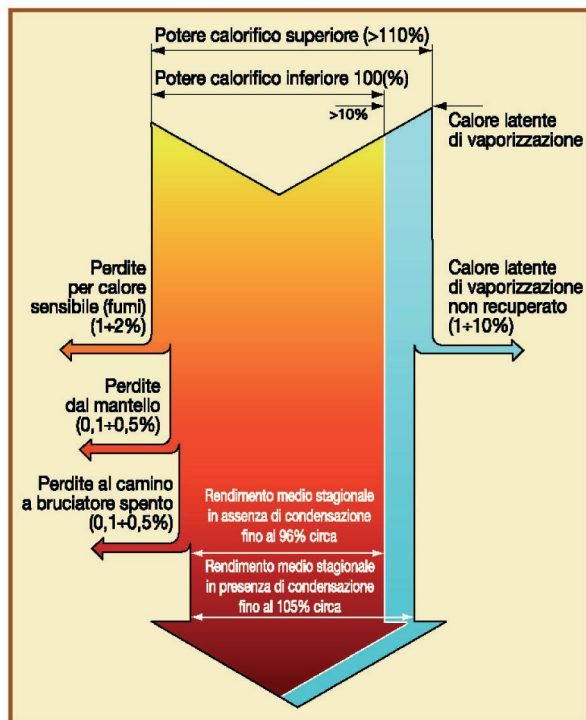


Fig. 7 - Raffronto tra i bilanci energetici in presenza ed in assenza di condensazione [1]

3. CONTINUITA' E INTERMITTENZA DI FUNZIONAMENTO

3.1. L'effetto dell'inerzia termica

L'inerzia termica degli edifici è una proprietà molto importante, poiché da essa dipende la capacità di un edificio di mantenere la temperatura interna nel tempo e di poter sfruttare adeguatamente gli apporti gratuiti. L'inerzia termica tuttavia ha implicazioni anche sulle modalità operative ottimali dell'impianto di produzione di calore e pertanto l'analisi del comportamento termico di un edificio non deve limitarsi a

considerare solo le prestazioni dell'involucro, ma deve anche tener conto dell'effettivo comportamento del sistema di generazione di energia.

Vi sono numerosi lavori in letteratura che trattano l'effetto dell'intermittenza di funzionamento dell'impianto, tenendo conto di diversi parametri quali la capacità termica delle strutture, la posizione dell'isolamento termico e le modalità operative dell'impianto [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

In generale non viene sufficientemente evidenziato il fatto che il comportamento dell'edificio, in caso di intermittenza di funzionamento, è governato, nel suo complesso dalla costante di tempo, che dipende sostanzialmente dalla resistenza termica (equivalente) tra esterno e interno e dalla capacità termica (effettiva) dell'edificio stesso.

Un edificio a bassa costante di tempo (per esempio poco isolato, anche se massivo) esibirà un abbassamento di temperatura, nel periodo di spegnimento, più elevato di quello di un edificio ad elevata costante di tempo (per esempio molto isolato, anche se relativamente leggero).

Ne consegue che nel primo caso il minore fabbisogno termico dell'involucro comporta una condizione di minor comfort termico complessivo e che pertanto il confronto diretto con una gestione d'impianto continua non è possibile, poiché manca la parità di condizioni.

Peraltro, come viene più oltre illustrato, il maggior fabbisogno termico dell'involucro può non corrispondere a maggior consumo di energia primaria, se al funzionamento continuo vengono associate una opportuna tipologia di generazione del calore e una opportuna gestione dell'impianto stesso.

3.2. Rendimento e continuità di funzionamento

Il comportamento termico dell'edificio non può essere quindi considerato indipendente da quello dal sistema di generazione e distribuzione del calore.

Si è visto in precedenza come l'efficacia della tecnica della condensazione non sia solo legata alle caratteristiche costruttive del generatore, ma sia fortemente influenzata dalle modalità funzionali del generatore stesso, soprattutto ai carichi parziali. In particolare l'efficienza migliora quando:

- a) la temperatura di ritorno dall'impianto è la più bassa possibile;
- b) la caldaia funziona il più a lungo possibile a bassa potenza (fattore di carico ridotto), minimizzando in tal modo la differenza di temperatura tra acqua e fumi.
- c) l'eccesso d'aria sia sempre limitato.

La prima condizione è strettamente legata alla configurazione ed alla tipologia dei corpi emettitori, pertanto sono favoriti impianti radianti o terminali d'impianto operanti a media temperatura.

Le condizioni a) e b) sono invece strettamente collegate al tempo di accensione dell'impianto. In generale, infatti, maggiore è il tempo di funzionamento dell'impianto (funzionamento continuo anziché discontinuo o intermittente), maggiore è la riduzione della temperatura media richiesta ai corpi di scambio, poiché parallelamente si riduce la potenza termica istantanea richiesta dall'edificio, con conseguente innalzamento del rendimento di produzione stagionale.

La condizione c) risulta soddisfatta da bruciatori premiscelati in grado di controllare e mantenere sempre basso l'eccesso d'aria.

La scelta del funzionamento continuo rispetto a quello intermittente si rivela quindi altamente efficace nell'impiego di caldaie a condensazione; infatti, poter operare con potenze richieste minori significa avere la possibilità di garantire livelli di temperatura del fluido termovettore più contenuti, favorendo quindi la condensazione dei fumi. Come si vedrà in seguito, in condizioni normali di regime di funzionamento intermittente, si deve garantire una potenza che, rispetto al funzionamento continuo risulta anche doppia, richiedendo pertanto di erogare acqua a più alta temperatura.

Analizzando la curva di emissione di un radiatore (Figura 8), infatti, si vede che, al fine di riscaldare un ambiente fornendo, per esempio, 800 W, si deve garantire una temperatura media al radiatore $t_m = 62^\circ\text{C}$, che non consente, di fatto, la condensazione dei fumi e il conseguente recupero energetico. Con un funzionamento continuo, ipotizzando di fornire una potenza inferiore alla precedente e pari, per esempio, a 470 W, le temperature operative si abbassano, richiedendo una temperatura media $t_m = 48^\circ\text{C}$, che comporta acqua di ritorno in caldaia a una temperatura tale da permettere un parziale recupero energetico per condensazione.

Si noti peraltro che i radiatori sono spesso sovradimensionati, fatto che consente di utilizzare mediamente acqua di riscaldamento a temperatura relativamente bassa (attorno a 45°C - 50°C), anche in presenza di radiatori preesistenti, dimensionati e progettati per funzionare ad alta temperatura.

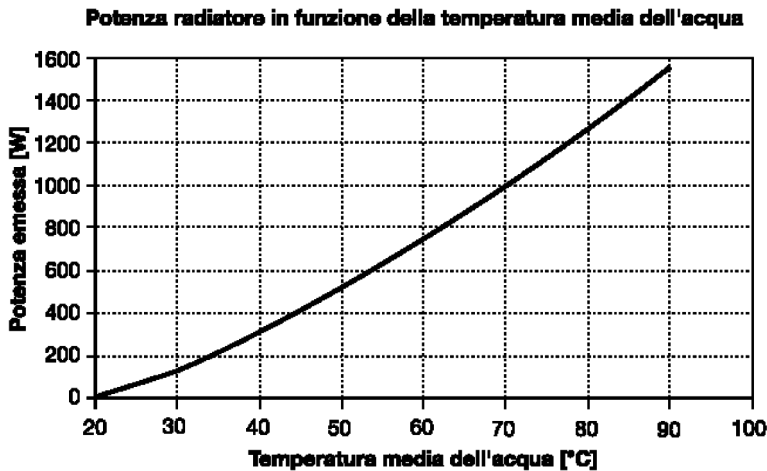


Fig. 8 - Andamento della potenza emessa da un radiatore al variare della temperatura media del fluido termovettore

4. UN CASO DI STUDIO

4.1. L'edificio

In questo lavoro è stato analizzato il condominio “Le Ginestre”, sito in Gallarate (Va), costruito nel 1971 e composto da un corpo centrale, da una palazzina isolata e da una palazzina adibita a portineria (Figura 9). Il corpo centrale è alto sette piani, con sei appartamenti per piano, sei mansarde sopra il settimo piano, una sala giochi ed una piscina (con annesso locale docce e spogliatoio) al piano terra e tre vani scala con ascensore. La palazzina isolata è alta anch'essa sette piani con due appartamenti per ogni piano, due mansarde sopra l'ultimo piano e un vano scala con ascensore.

Gli alloggi sono in totale 65 (56 appartamenti, 8 mansarde e la portineria) con doppi servizi. Gli appartamenti hanno una superficie pari a circa 150 m² ciascuno, le mansarde 64 m² e la portineria 60 m², per un totale, per l'intero condominio, di quasi 9000 m² ed un volume di circa 27000 m³.

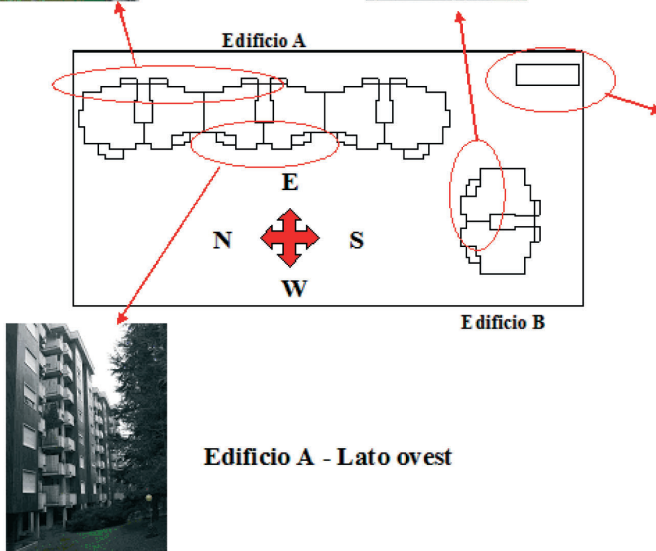
Edificio A - Lato est



Edificio B - Lato nord-est



Portineria



Edificio A - Lato ovest



Fig. 9 - L'edificio analizzato

La struttura muraria è tipica del periodo di costruzione dell'edificio, quando i bassi prezzi dei combustibili fossili non richiedevano elevati gradi di isolamento termico né a livello di pareti né a livello di superfici vetrate e relativi telai. Le pareti esterne, partendo dall'interno verso l'esterno, sono costituite da 25 cm di mattoni forati, 3 cm d'intercapedine d'aria, 8 cm di mattoni forati con piastrelle di rivestimento esterno. Le finestre hanno vetri singoli con un telaio, pari al 10% circa della superficie, in alluminio, con avvolgibili dotati di cassonetto.

L'acqua calda per il riscaldamento è distribuita mediante quattro colonne montanti principali, mentre negli ambienti i terminali sono costituiti da radiatori in ghisa. Il periodo di funzionamento della piscina è ininterrotto da inizio aprile a fine ottobre.

L'intervento di riqualificazione è stato effettuato solo a livello della centrale termica, senza intervenire su nessun altro elemento della struttura degli edifici né sui terminali degli impianti.

4.2. Situazione ante-operam

Le vecchie caldaie erano di tipo tradizionale, pertanto non sfruttavano la condensazione e presentavano una curva del rendimento con forte penalizzazione ai carichi parziali. In Figura 10.a si riporta un tipico esempio di andamento del rendimento in funzione del carico per una caldaia tradizionale.

Nella situazione ante-operam erano installate in centrale termica due caldaie di potenza unitaria pari a circa 1050 kW. Tale configurazione non permetteva un'efficace modulazione dell'impianto ai carichi parziali, risultando estremamente sovradimensionata in rapporto alle esigenze del complesso residenziale di cui si tratta; la conduzione dell'impianto prevedeva un funzionamento discontinuo, con accensione dalle ore 6 alle 9 e dalle 11 alle 21. Il risultato di tale situazione era un rendimento molto basso dei gruppi termici e una condizione di scarso comfort abbastanza generalizzata negli alloggi.

4.3. Situazione post-operam

Le moderne caldaie a condensazione, per sfruttare il calore latente dei fumi, devono lavorare a temperature quanto più basse possibile; è quindi logico aspettarsi che durante il funzionamento ai carichi parziali il loro rendimento sia migliore di quello alla massima potenza (Figura 10.b).

La riqualificazione della centrale termica è stata effettuata mediante l'installazione di 10 moduli termici a condensazione aventi ciascuno potenza termica utile pari a 48,7 kW (con temperatura dell'acqua pari a 60-80°C) o 52,6 kW (con temperatura dell'acqua pari a 30-50°C), con rendimento termico utile, riferito al PCI, pari a 97,3 e 105,1 nei due casi rispettivamente.

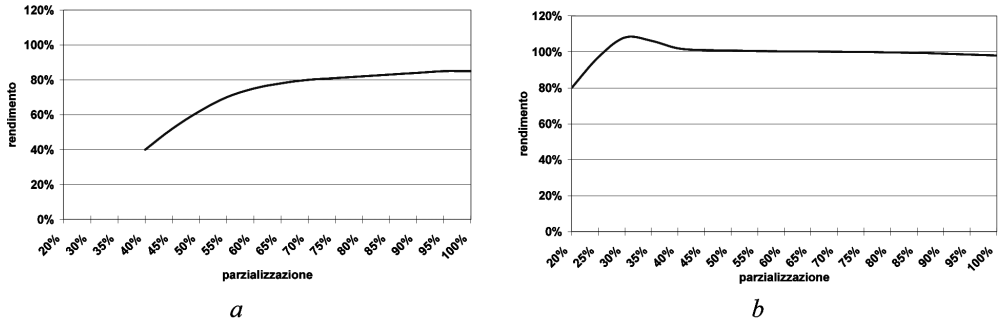


Fig. 10 - Rendimento ai carichi parziali di una caldaia tradizionale (anni '80-'90), a sinistra, e per una caldaia a condensazione, a destra

I moduli sono installati in due gruppi, uno da sei e uno da quattro; le diverse utenze termiche sono ripartite nel seguente modo: durante l'inverno otto moduli soddisfano le richieste dell'impianto di riscaldamento, mentre i due rimanenti funzionano per la produzione di acqua calda sanitaria; quando non vi è richiesta termica da parte delle utenze di acqua calda sanitaria anche i due moduli rimanenti possono integrare la funzione di riscaldamento. L'acqua calda sanitaria viene oggi accumulata in tre serbatoi da 300 litri ciascuno; una pompa di ricircolo permette all'utenza la disponibilità immediata di acqua calda alle utenze. Nella situazione ante-operam erano installati serbatoi di accumulo a serpentino da 2000 l complessivi con pompa di ricircolo (figg. 11.a,b,c,d).



Fig. 11.a - Centrale termica



Fig. 11.b - Linee di distribuzione



Fig. 11.c - Caldaie a condensazione



Fig. 11.d - Bollitori per acqua sanitaria

5. IL MONITORAGGIO DELL'IMPIANTO

5.1. La strumentazione utilizzata

Ai fini della valutazione standardizzata dei consumi, è stata effettuata una campagna di misure nel periodo da ottobre 2006 a febbraio 2007.

Sono stati rilevati i consumi di gas metano al contatore. Inoltre si è provveduto al collocamento di tre contatori di calore ad ultrasuoni tipo “Sonozen”: uno per l'acqua del circuito di riscaldamento, uno per il circuito dell'acqua calda sanitaria ed uno per il circuito dell'acqua della piscina (Figura 11). In questo modo è stato possibile calcolare il rendimento di produzione nei diversi periodi della stagione.

Sempre per quanto riguarda la parte idronica di distribuzione sono state effettuate misure di temperatura mediante strumentazione HOBO su mandata e ritorno dei circuiti primario e secondario del disaccoppiatore idraulico (Figura 12), mandata e ritorno di una colonna esterna e mandata e ritorno di una colonna interna (Figura 13).

Infine sono stati installati otto misuratori di temperatura dell'aria e umidità relativa del tipo TINYTAG all'interno di abitazioni scelte opportunamente:

- zona giorno orientata ad Ovest di un appartamento centrale al quarto piano;
- zona giorno orientata a Sud di un appartamento esterno al sesto piano;
- zona giorno orientata a Nord di un appartamento esterno al quarto piano;
- zona giorno orientata a Ovest di un appartamento centrale al settimo piano;
- mansarda provvista di isolamento termico sul tetto;
- stanza orientata a Nord e zona notte orientata ad Est di un appartamento al secondo piano.

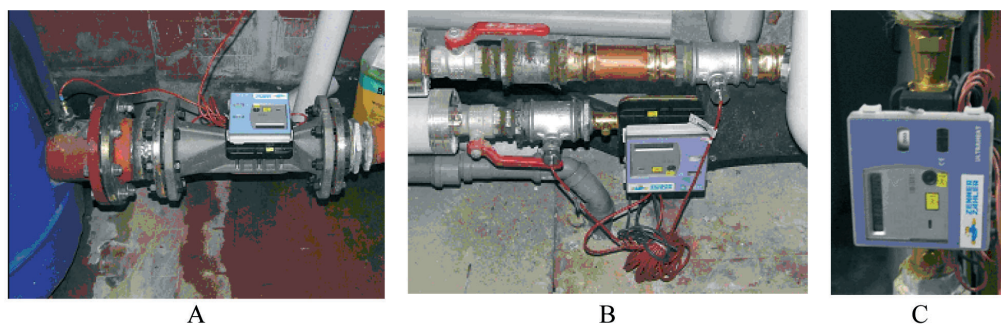


Fig. 12 - Inserimento dei contatori di calore nel circuito del secondario (A), nel circuito dell'acqua della piscina (B), nel circuito dell'acqua calda sanitaria (C).

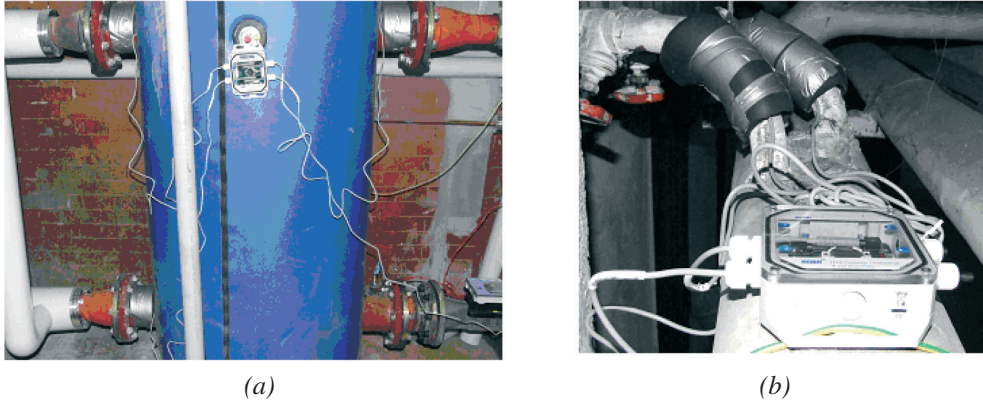


Fig. 13 - Disposizione delle sonde di temperatura sul disaccoppiatore idraulico (a) e sulle colonne di distribuzione (b)

5.2. Risultati delle misure

5.2.1. Temperature esterna e di produzione delle caldaie

Si riporta in Figura 14 l'andamento della temperatura dell'acqua all'ingresso del collettore di equilibramento (in uscita dalle caldaie), in funzione della temperatura esterna rilevata da una sonda durante la seconda metà di dicembre 2006: si noti l'effetto della regolazione con sonda climatica, che fa aumentare la temperatura di uscita dalle caldaie al diminuire della temperatura esterna. La temperatura massima di produzione dell'acqua, rilevata durante la stagione, è stata di 60°C .

I brevi abbassamenti di temperatura di mandata che si riscontrano una volta al giorno sono dovuti ad una momentanea richiesta di calore inferiore alla minima erogabile all'inizio della fase di attenuazione, ma non inficiano praticamente la continuità di esercizio dell'impianto.

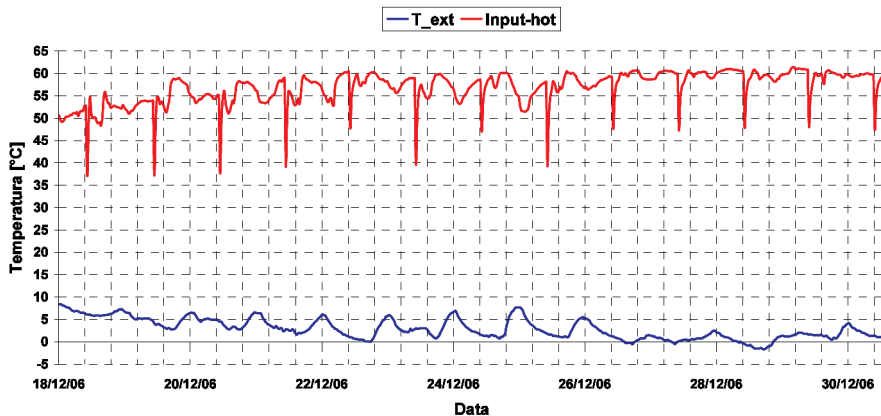


Fig. 14 - Temperatura esterna e dell'acqua alla mandata del circuito primario nel periodo tra il 18/12/2006 e il 30/12/2006

5.2.2. Misure di energia ai contatori

Le misure effettuate sull'impianto permettono un calcolo del rendimento di produzione dei generatori di calore. In Tabella 2 si vedono le letture rilevate in centrale termica: consumo di gas, energia per il riscaldamento, energia per la zona piscina ed energia per la produzione di acqua calda sanitaria.

Tab. 2 - Letture complessive di energia e consumo di gas naturale

	Data			
	25-10-2006	15-11-2006	19-12-2006	23-02-2007
A.C.S. [kWh]	11513	24670	46537	90000
Piscina [kWh]	6239	9040	9040	9040
Riscaldamento [kWh]	43250	125770	297470	737720
Contatore gas [m ³]	88151	98365	118148	167550

Si noti che l'energia erogata per il riscaldamento dell'acqua della piscina si mantiene costante dalla seconda lettura in poi; il motivo è dovuto alla sospensione del funzionamento della piscina nel periodo dal 1 novembre al 31 marzo. Le misure hanno permesso di fare una stima del fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria e di acqua calda per la piscina.

Avendo a disposizione le letture dei consumi di metano rilevate al contatore e le letture dei contatori di calore, è possibile calcolare, per il periodo di osservazione, il rendimento di produzione delle caldaie. In Tabella 3 si riassumono i rendimenti sulla base delle informazioni raccolte.

Tab. 3 - Rendimenti di produzione nei periodi di misura

	Novembre 2006	Dicembre 2006	Gennaio 2007	Febbraio 2007
η_p [%]	100	102	102	100

Nella stagione di riscaldamento 2005-2006 il consumo energetico è stato pari a 103 kWh/(m² anno) per il riscaldamento e 13 kWh/(m² anno) per l'acqua calda sanitaria, con un rendimento medio di produzione calcolato pari a 101%.

5.2.3. Temperature al disaccoppiatore idraulico

Le rilevazioni delle quattro temperature relative al disaccoppiatore, sono iniziate il giorno 25/10/2006 e sono terminate il giorno 23/02/2007, con cadenza di campionamento di 30 minuti. Le temperature di mandata e le differenze di temperatura dei circuiti primario e secondario sono riportate nelle Figure da 15 a 18, mentre un riassunto sui valori minimi, medi e massimi per i medesimi circuiti si trova nella Tabella 4.

Si noti come siano molto ristretti i periodi in cui le caldaie non hanno operato a temperatura inferiore a 55°C; in condizioni di eccesso d'aria costante intorno a valori del 20%, tipico dei generatori installati, la temperatura di rugiada dei fumi è di 56°C circa e rappresenta il limite al di sotto del quale si ha la condensazione di vapor d'acqua sulle

superfici di scambio termico. Si spiegano pertanto i valori elevati dei rendimenti di produzione conseguiti mediamente nei periodi analizzati.

Mediamente il disaccoppiatore idraulico è stato alimentato dal circuito primario ad una temperatura di poco inferiore a 50°C con una temperatura media di ritorno ai moduli termici di 39,5°C. A sua volta il disaccoppiatore ha alimentato il circuito secondario mediamente a 45,2°C, con una temperatura media di ritorno dal medesimo circuito pari a 37,8°C.

Tab. 4 - Principali valori di temperatura relativi ai circuiti primario e secondario

	Circuito primario			Circuito secondario		
	Max [°C]	Min [°C]	Media [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Media [°C]
Mandata	61,4	24,2	49,3	57,4	23,9	45,2
Ritorno	50,4	23,7	39,5	45,1	23,4	37,8

5.2.4. Temperature della colonna di distribuzione esterna

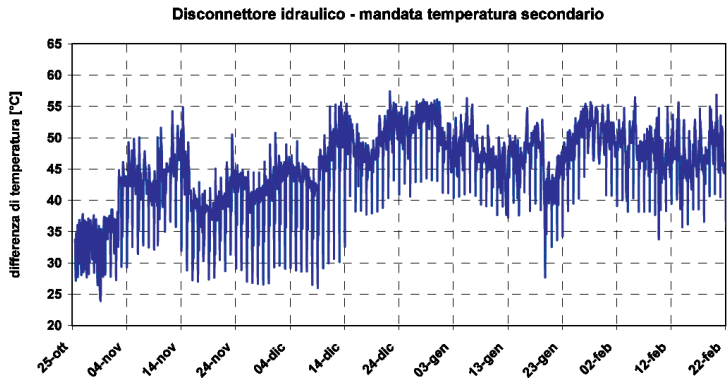
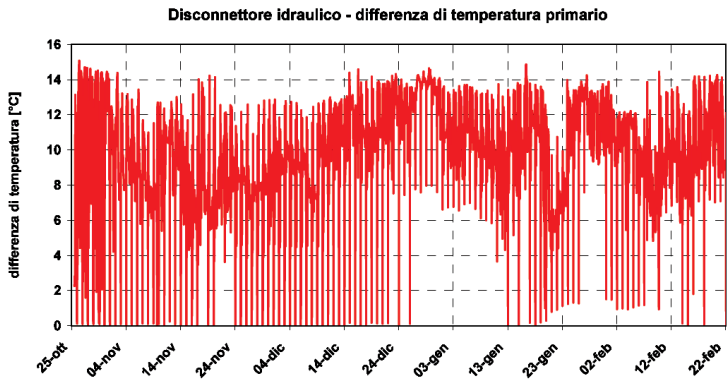
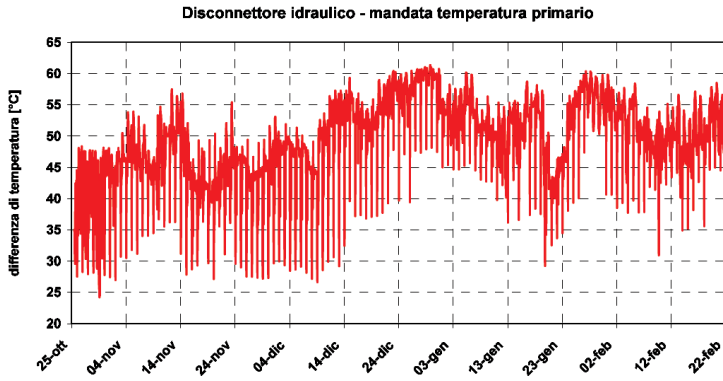
Ai fini di una più accurata stima delle perdite di distribuzione, nello stesso periodo sono state misurate le temperature relative a una delle quattro colonne montanti esterne. Nella Figura 19 si riporta l'andamento delle temperature di mandata e di ritorno durante il mese di dicembre, mentre in Figura 20 si riporta l'andamento della differenza di temperatura tra mandata e ritorno per l'intero periodo di osservazione. Nella Tabella 5 si riportano i valori massimo, minimo e medio di temperatura registrati rispettivamente per la mandata e per il ritorno. Mediamente, la differenza di temperatura tra mandata e ritorno si è attestata intorno a 3,8°C.

Tab. 5 - Principali valori di temperatura relativi alle colonne esterna e interna

	Colonna esterna			Colonna interna		
	Max [°C]	Min [°C]	Media [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Media [°C]
Mandata	54,0	23,8	43,4	52,2	25,1	42,9
Ritorno	47,9	23,6	39,7	44,6	20,3	37,9

5.2.5. Temperature della colonna di distribuzione interna

Oltre alle temperature delle colonne esterne, si è provveduto anche ad analizzare quelle delle colonne interne durante lo stesso periodo. Nella Figura 21 si riporta il grafico delle temperature di mandata e di ritorno, relative alla colonna considerata, nel mese di dicembre 2006. Si riporta inoltre in Figura 22 la differenza tra le temperature di mandata e quelle di ritorno per l'intero periodo di osservazione. In Tabella 5 sono riportate le temperature massima, minima e media registrate rispettivamente per la mandata e per il ritorno, ad esclusione dei periodi con errori di misura. Mediamente, la differenza di temperatura tra mandata e ritorno si è attestata intorno a 4,6°C.



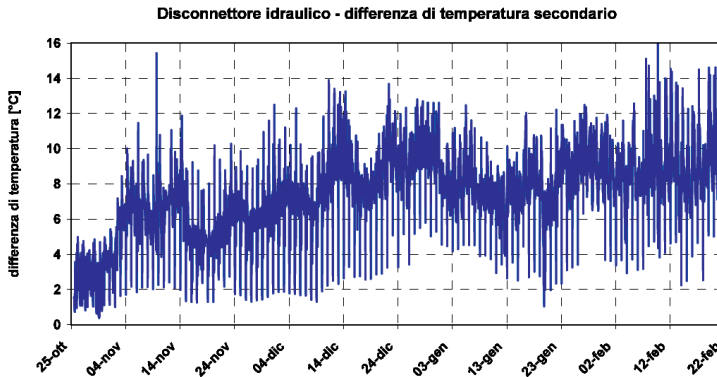


Fig. 18 - Differenza di temperatura tra mandata e ritorno del circuito secondario [°C]

5.2.6. Condizioni termoigrometriche all'interno degli appartamenti

All'interno di un campione rappresentativo di appartamenti sono state rilevate temperatura ed umidità relativa dell'aria, con campionamento di 30 minuti nel periodo dal 25/10/2006 al 11/02/2007. Nella Figura 23 si riporta l'andamento orario medio negli appartamenti considerati, delle temperature dell'aria per il mese di dicembre. Per lo stesso periodo si riportano anche il valore medio, tra gli appartamenti monitorati, dell'umidità relativa interna (Figura 24).

Mediamente durante i tre mesi della campagna di misure si sono avute temperature interne superiori a 21°C (Tabella 6), valore molto interessante se si considerano tutti i parametri che lo determinano (regime di funzionamento, temperature dell'acqua, tipo di terminali ecc.): l'eccedenza rispetto al valore di 20°C mette in evidenza come i risultati di risparmio energetico conseguiti potrebbero essere ulteriormente incrementati se si provvedesse all'installazione di valvole termostatiche sui radiatori.

Tab. 6 - Temperatura dell'aria interna media mensile

	Novembre	Dicembre	Gennaio
Temperatura interna media	21,8	21,2	21,7

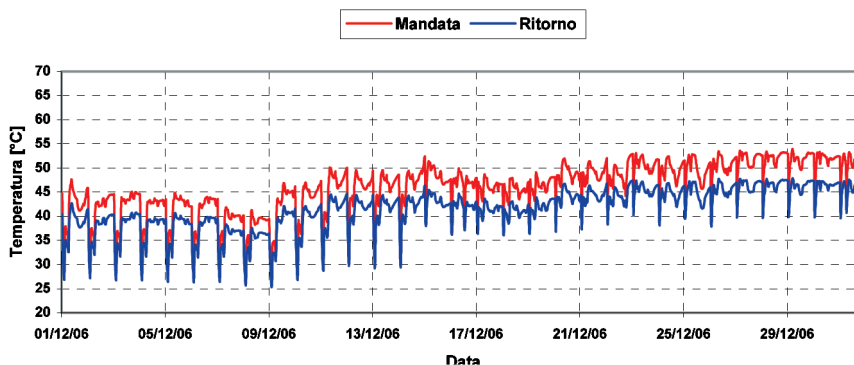


Fig. 19 - Temperature di mandata e ritorno della colonna esterna

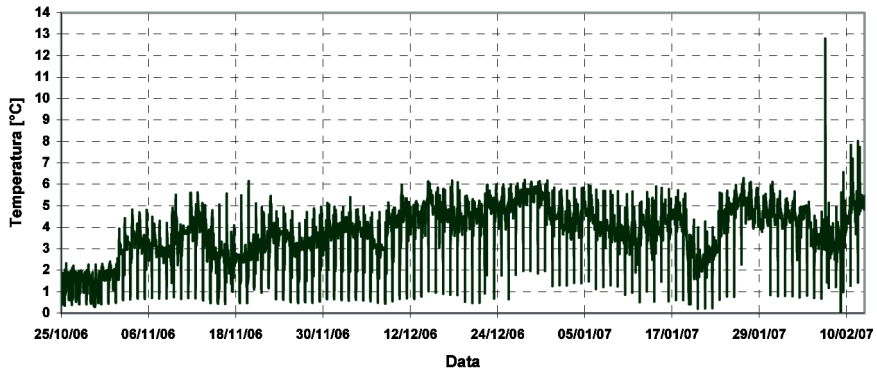


Fig. 20 - Differenza di temperatura tra mandata e ritorno della colonna esterna

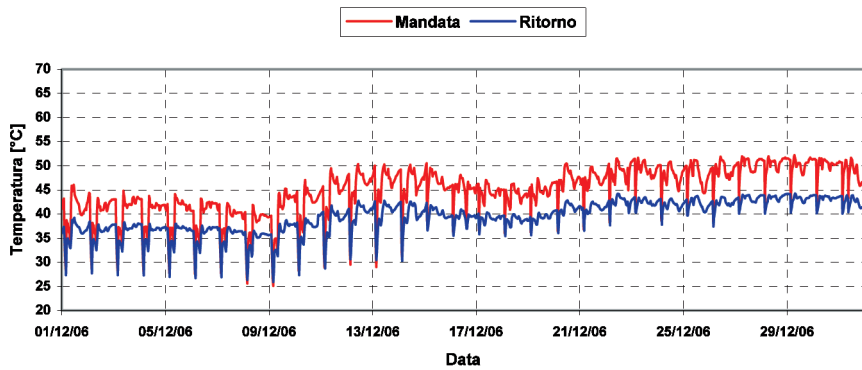


Fig. 21- Temperature di mandata e ritorno della colonna interna

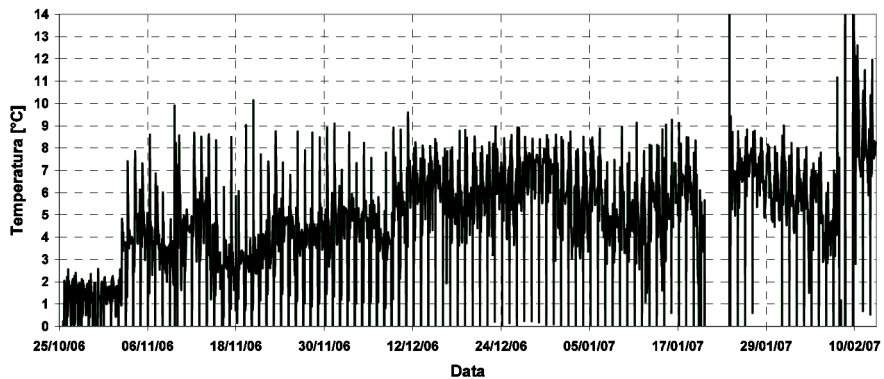


Fig. 22 - Differenza di temperatura tra mandata e ritorno della colonna interna

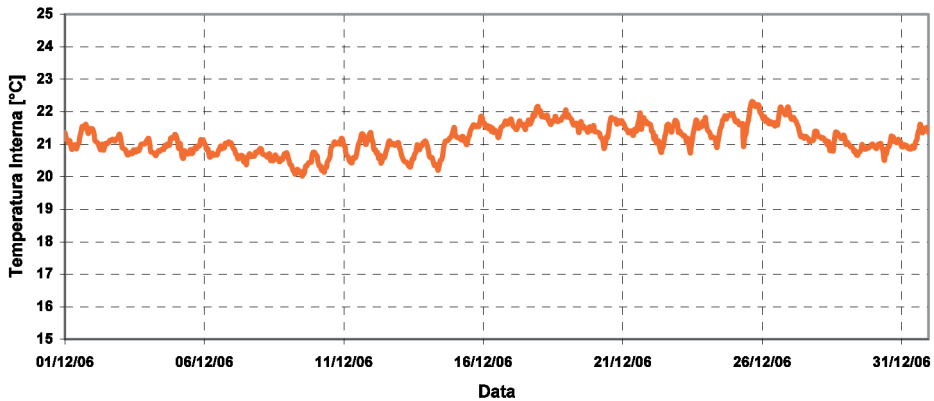


Figura 23 - Temperatura dell'aria media misurata all'interno degli appartamenti

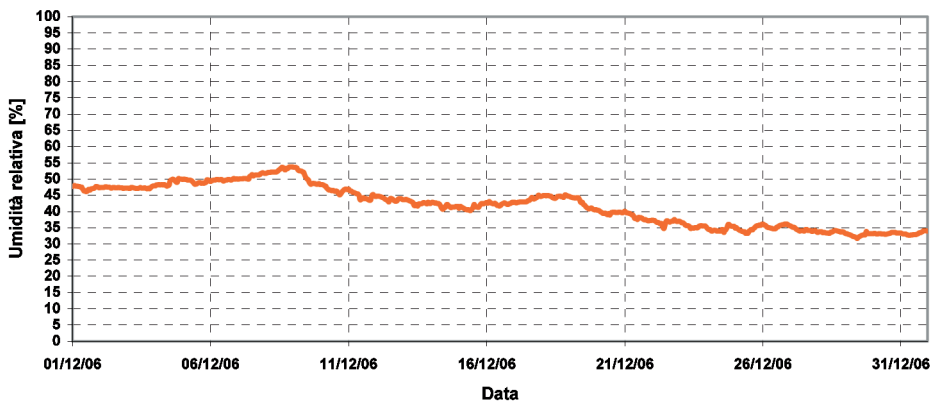


Figura 24 - Umidità relativa dell'aria media misurata all'interno degli appartamenti

6. IL MODELLO DI SIMULAZIONE TERMICA DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

Dalle letture dell'energia misurata ai contatori per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, per l'acqua della piscina e per quella del circuito di riscaldamento, è stato possibile stimare i valori medi giornalieri di energia erogata dai generatori nei diversi periodi di osservazione (Tabella 7). Si noti una richiesta di acqua calda sanitaria sostanzialmente abbastanza uniforme durante il periodo analizzato. I consumi di acqua calda sanitaria, per la piscina e per il riscaldamento sono stati successivamente utilizzati ai fini della taratura del modello.

Tab. 7 - Energia termica media giornaliera per le diverse utenze [kWh/giorno]

	25-10 15-11	15-11 19-12	19-12 23-02
A.C.S.	626	643	658
Piscina	335*	0	0
Riscaldamento	3930	5050	6670

* in funzione fino al 31/10

6.1. Il modello dell'edificio

Il modello del complesso di edifici “Le Ginestre” è stato sviluppato mediante il software TRNSYS [11].

La costruzione del modello ha richiesto la raccolta dei dati planimetrici e fisici degli edifici, mentre ai fini della successiva taratura del modello stesso sono stati raccolti i dati climatici relativi alla zona geografica in cui è sito l'edificio e i parametri termoi-grometrici interni all'edificio.

Si è proceduto quindi alla taratura del modello, prendendo come riferimento il periodo compreso il 25-10-2006 e il 19-12-2006, impostando, come condizioni al contorno:

- un set-point interno pari alla temperatura media rilevata all'interno degli appartamenti;
- i dati climatici di radiazione, temperatura e umidità relativa esterne rilevate nel periodo di osservazione.
- i carichi interni sensibili e latenti, tenendo conto delle risposte fornite da un opportuno questionario distribuito ad un campione di famiglie;
- i valori di infiltrazione, calcolati in base alle umidità specifiche esterna ed interna degli appartamenti campione.

6.1.1. Caratteristiche geometriche

Il primo passo ha comportato la raccolta di dati dimensionali attraverso disegni e sopralluoghi. A partire dai dati planimetrici e volumetrici è stata analizzata la pianta degli edifici che ha permesso di individuare il numero e la disposizione delle pareti perimetrali esterne e di quelle interne di confine tra gli appartamenti ed in generale tra le diverse zone termiche e la posizione delle finestre. Nelle visite all'interno degli appartamenti è stato possibile rilevare le misure di alcune finestre rappresentative, e in particolare la percentuale di telaio rispetto all'intero elemento finestrato e quante finestre presentavano il cassonetto in alluminio o in legno. La percentuale di telaio in alluminio rilevato è pari a circa il 10% della superficie finestrata; due finestre per ogni appartamento presentano il cassonetto in alluminio, mentre tutte le altre presentano il cassonetto interno di legno. Tutte le finestre sono a vetro singolo, con tapparelle in plastica e in ogni appartamento; sono presenti due porte di ingresso in legno per ogni alloggio.

6.1.2. Caratteristiche strutturali

La struttura muraria esterna è composta da intonaco interno, mattoni da 25 cm, intercapedine di 3 cm d'aria e mattoni forati da 8 cm rivestiti di piastrelle.

All'ultimo piano di entrambi gli edifici si è considerato un soffitto diverso a seconda che confinasse con l'esterno o con il pavimento della soprastante mansarda. Inoltre per le mansarde si sono considerati tetti coibentati con lana di roccia (per sei di esse), uno coibentato con poliuretano ed uno non coibentato, secondo informazioni ricevute durante le visite in loco.

Lo spessore complessivo e i valori di trasmittanza utilizzati nelle simulazioni sono riportati in Tabella 8.

Tab. 8 - Strutture ipotizzate nelle simulazioni

struttura	spessore [m]	U [W/(m ² K)]
pareti esterne	0.35	0.8
pareti interne	0.22	1.1
solai interni	0.30	0.9
porte di ingresso	0.06	1.1
cassonetti degli avvolgibili	0.14	1.1
copertura degli appartamenti	0.30	1.0
solaio appartamenti-mansarde	0.30	1.1
copertura isolata delle mansarde	0.20	0.6
copertura non isolata delle mansarde	0.16	1.9

6.1.3. Determinazione dei carichi interni e della portata d'infiltrazione d'aria

Per gli apporti gratuiti, in base alle risposte fornite dal questionario distribuito, è stato impostato un valore di 4.5W/m².

La rilevazione di temperatura e umidità relativa interne agli appartamenti ha permesso di calcolare il valore dell'umidità specifica oraria interna x_i ; con i dati riferiti alle condizioni climatiche esterne, si è calcolata l'umidità specifica oraria esterna x_o . Sulla base dei questionari raccolti, tenendo conto delle dimensioni degli appartamenti e della bassa densità abitativa., è stata valutata la portata media di infiltrazione pari a circa 0,22 Vol/h sull'intero periodo di monitoraggio.

6.2. Il modello del generatore di calore

Il modello considera la caldaia come un sistema aperto (Figura 25) soggetto a diversi flussi di energia e di massa e, sulla base di opportuni bilanci, fornisce la temperatura di mandata, il rendimento e il consumo di combustibile del sistema. La simulazione aggiorna tutti i parametri di scambio ogni 5 minuti e per ogni step temporale vengono ricalcolate tutte le grandezze influenti sul funzionamento della caldaia. Per ogni step il sistema tiene conto anche dell'inerzia termica del sistema di distribuzione, comprensivo di colonne e terminali di impianto. Il modello di simulazione dello scambio

termico tra fumi e acqua del circuito primario si basa su una discretizzazione alle differenze finite.

Il disaccoppiatore idraulico è stato modellato in modo tale da consentire la determinazione dei parametri rilevanti, specificamente le temperature di ingresso e di uscita dei due circuiti primario e secondario, con le rispettive portate. La portata del circuito secondario risulta essere costante mentre quella del circuito primario è funzione del numero di moduli attivi nell'istante esaminato. Le quattro temperature in gioco nel disaccoppiatore vengono combinate tenendo conto della portata di ricircolo prestabilita.

A valle del disaccoppiatore si è tenuto conto inoltre di un opportuno termine capacitivo che tenga conto della massa d'acqua del circuito secondario.

Il modello consente di simulare diverse strategie di regolazione.

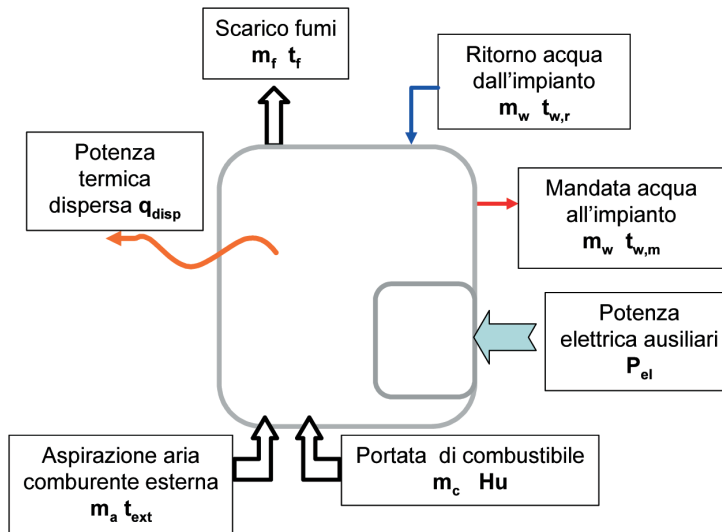


Fig. 25 - Schema del modello per il calcolo della resa di una caldaia

7. TARATURA DEI MODELLI

7.1. Taratura del modello dell'edificio

I dati climatici sono stati forniti da ARPA Lombardia, e comprendono temperatura, umidità e radiazione solare; la stazione climatica di riferimento è sita a Somma Lombardo, cittadina della zona pedemontana della provincia di Varese, a pochi chilometri a Nord-Ovest di Gallarate. Le temperature esterne misurate e i valori forniti dalla stazione climatica sono in buon accordo, pertanto i dati, nel loro complesso, sono stati ritenuti sufficientemente pertinenti all'edificio analizzato.

La taratura del modello dell'edificio è stata eseguita sul periodo compreso tra 25-10-2006 e 19-12-2006, sulla base dei dati rilevati dai contatori di calore del circuito di

riscaldamento. Come temperature all'interno dell'edificio, sono state imposte quelle effettivamente misurate.

Per quanto riguarda il rendimento di emissione, si è tenuto conto dei valori riportati in letteratura [12, 13]; in particolare, i radiatori all'interno degli appartamenti sono in parte installati su superfici esterne non isolate ed in parte su divisori interni. Tenendo conto di questo aspetto, è stato imputato un rendimento di emissione pari a 0,92; tuttavia questi valori fanno riferimento ad un valore di temperatura di mandata dell'acqua di 85°C. In questo caso, la temperatura di mandata dell'acqua è più bassa e pertanto si è ritenuto di aumentare il rendimento al valore 0,95.

Per il calcolo del rendimento di distribuzione, sono state svolte simulazioni con il codice alle differenze finite HEAT2, imponendo come condizione al contorno le temperature misurate nelle colonne d'acqua. Per il periodo in questione il valore di rendimento di distribuzione è stato calcolato pari a 0,96. E' stata svolta anche un'analisi sul possibile rendimento di distribuzione antecedente (con funzionamento intermittente e temperatura di mandata maggiore), calcolando un valore del rendimento di distribuzione pari a 0,94. Si può vedere come la minore temperatura di mandata porti a valori leggermente più alti in termini di rendimenti di distribuzione.

In queste ipotesi, i risultati delle simulazioni e il confronto con le misure hanno portato ai risultati riassunti in Tabella 9, dove si vede il buon accordo tra simulazione e valore misurato (errore pari a circa 1,4%).

Tab. 9 - Riepilogo dei risultati di taratura [MWh]

Valore misurato	Fabbisogno netto (calcolato con TRNSYS)	Fabbisogno complessivo dei rendimenti
254	228	250

Sulla base del modello implementato in TRNSYS, non avendo a disposizione le temperature interne degli anni precedenti, è stato ipotizzato un rendimento di regolazione pari a 0,9 sia per il funzionamento continuo post-operam (stagione 2005-2006) sia per quello discontinuo ante-operam (stagioni 2003-2004 e 2004-2005). Delle simulazioni eseguite, per brevità si illustreranno solo i risultati della stagione 2003-2004.

La simulazione è stata svolta con regime intermittente della centrale termica secondo la seguente modalità: impianto acceso con set-point di temperatura a 20°C dalle 06.00 alle 09.00 e dalle 11.00 alle 22.00, impianto spento nelle rimanenti ore. Nella Figura 26 si può vedere il fabbisogno specifico complessivo dei rendimenti di emissione, distribuzione e regolazione per il periodo dicembre 2003-febbraio 2004.

Nella Tabella 10 vengono riportati i risultati delle simulazioni in termini di valori di picco del carico termico e del fabbisogno termico dell'edificio dalle simulazioni con TRNSYS, a cui sono state aggiunte le perdite relative ai termini di regolazione, emissione e distribuzione.

Tab. 10 - Risultati delle simulazioni per la stagione 2003-2004

Picco di potenza [kW]	Fabbisogno netto (calcolato con TRNSYS) [MWh]	Fabbisogno al primario comprensivo di rendimenti [MWh]
959	746	812

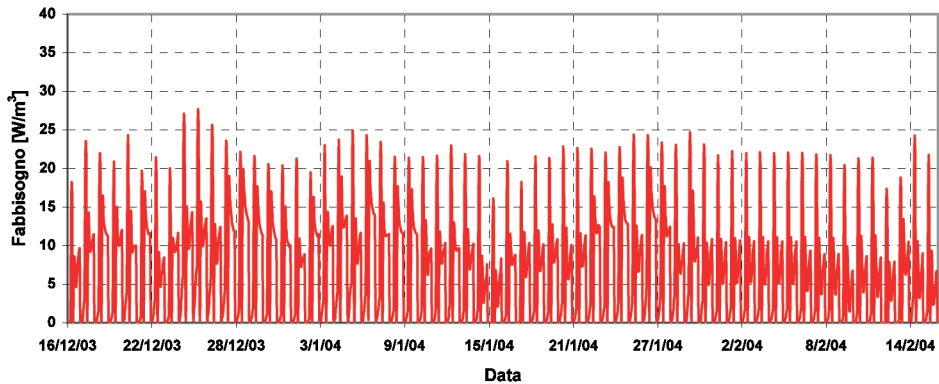


Fig. 26 - Fabbisogno di energia per il riscaldamento, nel periodo 16/12/03- 15/01/04

7.2. Taratura del modello del generatore di calore

7.2.1. Situazione ante-operam

I carichi derivanti dalle simulazioni di TRNSYS sono stati utilizzati come input per il modello della centrale termica. I risultati per l'anno 2003-2004 sono riportati in Tabella 11. Nella stessa tabella sono riportati i consumi derivanti dalla lettura del contatore di gas, depurati dai consumi di acqua calda sanitaria e per la piscina. Si può notare il buon accordo tra misure e simulazioni.

Tab. 11 - Risultati delle simulazioni per la stagione 2003-2004

Fabbisogno energetico comprensivo dei rendimenti di distribuzione, emissione e regolazione [MWh]	η_p [%]	Consumo calcolato [m ³]	Consumo misurato [m ³]
824	64	133893	133030

7.2.2. Situazione attuale

Il modello simula il funzionamento di un gruppo di 10 moduli termici e quindi il modello del sistema di regolazione simula, oltre alla regolazione di ogni singolo modulo, anche l'accensione e spegnimento degli stessi secondo il carico applicato e della logica di gestione scelta.

Il funzionamento del sistema di regolazione dei singoli moduli è basato sulla “curva climatica”, per stabilire il set-point della temperatura di mandata. In una caldaia reale la modulazione avviene variando contemporaneamente le portate di combustibile e comburente, mantenendole in rapporto costante (sistema a CO₂ costante); il modello del sistema di regolazione provvede a variare la portata di combustibile e di comburente da immettere nel bruciatore in modo da modulare la potenza termica scambiata generatore. La logica di regolazione (di tipo proporzionale) dei singoli moduli considera anche una funzione di booster che permette di effettuare una modulazione più rapida della temperatura di mandata dell'acqua nel caso si presentasse un carico improvviso (o al momento dell'accensione) e quindi il fuori equilibrio fosse notevole (Figura 27).

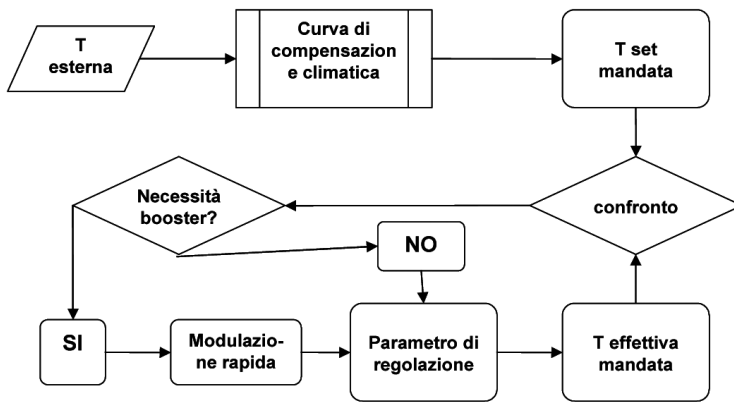


Fig. 27 - Schema della regolazione della caldaia analizzata

La logica di gestione che permette di massimizzare il rendimento di un gruppo di moduli deve provvedere a mantenere acceso il massimo numero di elementi con il più basso grado di parzializzazione possibile. Nel caso specifico i moduli in oggetto possono variare la potenza fra il 20% e il 100% del valore nominale; la logica di gestione provvede dunque ad accenderne il maggior numero possibile. E' stata considerata in particolare una parzializzazione minima del 30%, in modo da evitare situazioni di attacco e stacca continuato, che porterebbero ad un drastico decadimento del rendimento e ad una precoce usura delle apparecchiature. Ipotizzando un carico in aumento, il modulo n.° 1 resta acceso e modula in crescita fino a quando è possibile l'accensione di una seconda caldaia, in modo da soddisfare la richiesta di carico senza dover scendere singolarmente al di sotto del 30%. In questo modo il modulo n.° 1 eroga fino al 60% (istante 1); successivamente si accende il modulo n.° 2 ed entrambi si posizionano al 30% (istante 2). Successivamente entrambi modulano parallelamente fino al 45% (totale 90%), si accende quindi il modulo n.° 3 e tutti si posizionano al 30% (totale 90%). La logica continua in questo modo fino all'accensione di tutti i moduli che poi funzioneranno insieme fino al raggiungimento del carico richiesto.

I dati dei carichi termici forniti dalle simulazioni in TRNSYS sono stati utilizzati come ingresso per le simulazioni della nuova centrale termica. I risultati (Tabella 12)

mostrano il confronto tra il consumo misurato al contatore del gas e quello calcolato con il modello.

Tab. 12 - Risultati delle simulazioni per il periodo ottobre-dicembre 2006

calcolato			misurato		
Fabbisogno al primario [MWh]	η_p cacolato	Consumo calcolato [m ³]	Fabbisogno al primario [MWh]	η_p stimato	Consumo misurato [m ³]
250	102	25436	254	101	26112

8. CONFRONTO TRA CONSUMI ENERGETICI ANTE- E POST- OPERAM

Per poter valutare in modo corretto l'effetto dell'intervento di riqualificazione della centrale termica è necessario eseguire un calcolo riferito a condizioni climatiche standard, applicato al complesso edilizio di cui si tratta, una volta effettuata la taratura dei modelli. Tale valutazione risulta estremamente interessante, in quanto rappresentativo di uno standard dello stock edilizio italiano.

A tal fine è stato utilizzato il file climatico dell'anno tipo di Milano Malpensa e sono state effettuate diverse simulazioni per individuare la strategia più vantaggiosa per il riscaldamento degli edifici.

In particolare, sono state effettuate le seguenti simulazioni:

1. Funzionamento intermittente a 20°C su due fasce orarie: impianto acceso con set-point di temperatura a 20°C dalle 06.00 alle 09.00 e dalle 11.00 alle 22.00, impianto spento nelle rimanenti ore;
2. Funzionamento intermittente a 20°C su tre fasce orarie: impianto acceso con set-point di temperatura a 20°C dalle 06.00 alle 09.00, dalle 11.00 alle 16.00 e dalle 17.00 alle 23.00, impianto spento nelle rimanenti ore;
3. Funzionamento intermittente a 22°C su due fasce orarie: impianto acceso con set-point di temperatura a 22°C dalle 06.00 alle 09.00 e dalle 11.00 alle 22.00, impianto spento nelle rimanenti ore;
4. Funzionamento intermittente a 22°C e tre fasce orarie: impianto acceso con set-point di temperatura a 22°C dalle 06.00 alle 09.00, dalle 11.00 alle 16.00 e dalle 17.00 alle 23.00, impianto spento nelle rimanenti ore;
5. Funzionamento continuo, con attenuazione su due livelli termici: set-point di temperatura a 21°C dalle 06.00 alle 23.00, 19°C durante le rimanenti ore (attenuazione notturna).

Risulta interessante confrontare i risultati ottenuti nel caso dei quattro diversi regimi di funzionamento intermittente rispetto al funzionamento in regime continuo con attenuazione notturna, in termini di picchi di potenza e di fabbisogno di energia termica dell'edificio, comprendendo nell'analisi anche i rendimenti di emissione, regolazione e distribuzione. I risultati riassunti nella Tabella 13 evidenziano innanzitutto che il fabbisogno termico e la potenza di picco non risultano influenzati sensibilmente dalla suddivisione in fasce orarie, ma risultano invece maggiormente dipendenti dal valore di set-point prescelto. Quindi, ai fini di un confronto con il funzionamento attenuato, viene preso come riferimento il funzionamento a due fasce orarie.

Dall'analisi dei risultati si evince che il funzionamento in regime attenuato abbassa il picco di carico, aumentando al contempo il fabbisogno energetico dell'edificio. Questo fatto, risulta, oltre che dalla Tabella 13, anche dalla Figura 28, in cui è riportata la curva di frequenza dei fabbisogni energetici dell'involucro edilizio.

Tuttavia questa analisi non può prescindere dalla valutazione delle condizioni di comfort. In particolare risulta molto interessante valutare le condizioni interne nelle diverse simulazioni (Figura 29), dalle quali risulta che le migliori condizioni di comfort si ottengono con il funzionamento più continuo (tre fasce o attenuazione notturna). Va da se, quindi, che per effettuare un confronto a parità di condizioni di comfort risulta necessario considerare, per il funzionamento intermittente, il set-point di 22°C.

Si noti pertanto (Tabella 13) come, se si vogliono mantenere comunque condizioni di comfort analoghe a quelle del regime attenuato, il fabbisogno dell'edificio con funzionamento discontinuo presenta una differenza limitata (7%), rispetto al caso con funzionamento continuo e questo conferma quanto detto in precedenza.

Tab. 13 - Confronto tra picchi di potenza termica e fabbisogno energetico dell'involucro in regime intermittente e attenuato.

	Intermittente 20°C 2 Fasce	Intermittente 20°C 3 Fasce	Intermittente 22°C 2 Fasce	Intermittente 22°C 3 Fasce	Attenuato 21°C-19°C continuo
Picco di potenza [W/m ³]	38,7	38,3	43,8	43,3	18,5
Incremento del picco rispetto al funzionamento attenuato [%]	+ 109	+ 107	+ 136	+ 134	
Fabbisogno netto dell'edificio [kWh/(m ² a)]	96,8	97,7	113,8	115,0	121,7
Scostamento del fabbisogno rispetto al funzionamento attenuato [%]	- 20	- 20	- 7	- 6	

Per un'analisi completa si deve tener conto non solo dell'edificio ma anche del sistema di produzione dell'energia e, ai fini della valutazione del diverso consumo di gas metano, occorre simulare in modo dinamico il funzionamento delle diverse soluzioni impiantistiche. Per questo sono stati confrontati tra loro i consumi di metano derivanti dalle simulazioni con funzionamento intermittente su due fasce con set-point a 20°C, su due fasce con set-point a 22°C e il caso con funzionamento continuo attenuato. Sono state inoltre considerate due tipologie di generatori di calore:

- caldaie preesistenti (generatori ad efficienza standard tipicamente presenti nel parco edilizio italiano) con funzionamento intermittente;
- gruppo di 10 generatori a condensazione modulanti con funzionamento in cascata termica.

Ciò permette di valutare gli effetti della riqualificazione delle centrali esistenti con una tecnologia più evoluta e diversamente gestita, in modo da incrementare l'efficienza nella generazione di calore e nella sua distribuzione migliorando al contempo le condizioni di comfort termico percepito negli ambienti.

I risultati delle simulazioni (Tabella 14) evidenziano infatti come la corretta gestione del sistema edificio-impianto sia molto influente e come non ci si debba limitare al solo fabbisogno dell'edificio: rispetto al funzionamento intermittente con due fasce e set-point di 20°C una più efficiente generazione di calore consente un risparmio pari a circa il 28%, risparmio che invece risulta molto più evidente (circa 43%) volendo fare riferimento a un funzionamento con analoghe temperature medie interne (funzionamento discontinuo con set-point diurno a 22°C).

Fabbisogno termico dell'edificio

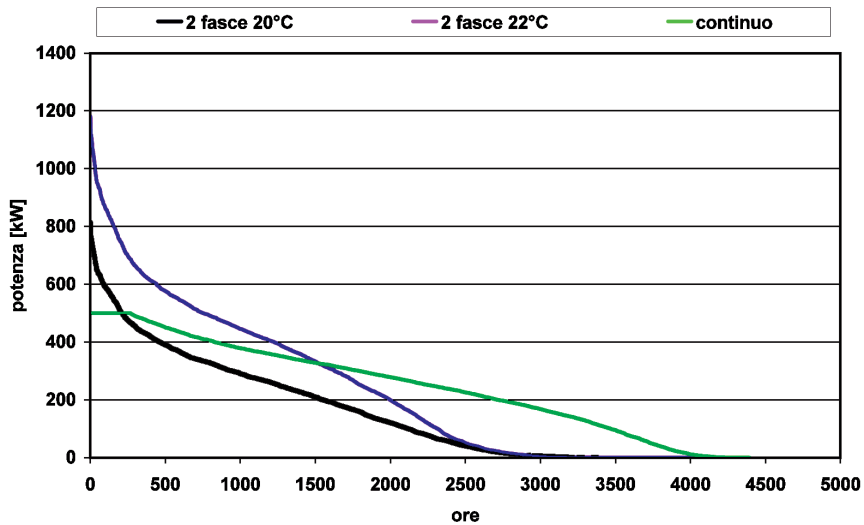


Fig. 28 - Curva di frequenza cumulata dei fabbisogni termici dell'edificio in tre diverse simulazioni

temperature interne medie nelle diverse modalità di funzionamento

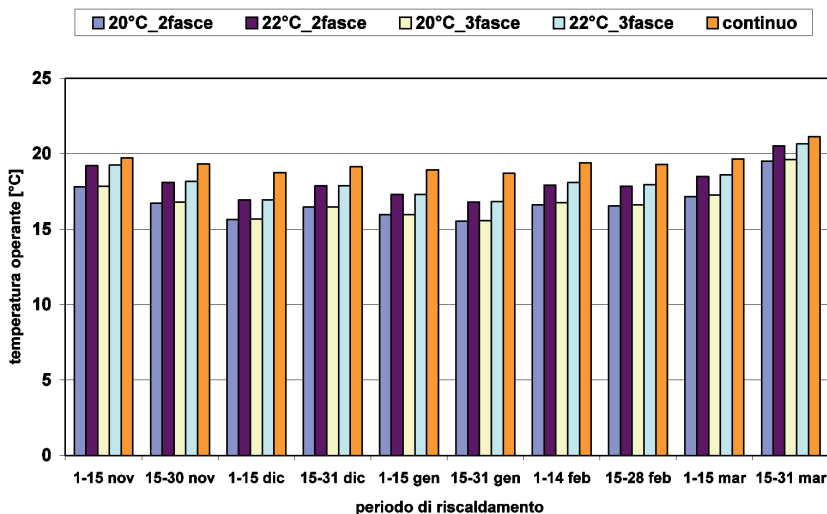


Fig. 29 - Temperature operanti medie nelle diverse modalità di funzionamento

Tab. 14 - Confronto tra i consumi di gas naturale e i rendimenti di produzione medi stagionali nei tre diversi casi simulati

	Modalità di funzionamento		
	Post-operam continuo attenuato	Ante-operam 2 fasce con set-point 20°C	Ante-operam 2 fasce con set-point 22°C
Fabbisogno dell'edificio [MWh]	1095	871	1024
Consumo di gas [Nm ³]	112600	155550	197270
Rendimento medio stagionale di produzione [%]	101%	58%	54%

9. CONCLUSIONI

Il lavoro svolto ha permesso di raccogliere numerose informazioni, utili sia ad interpretare gli effetti della modalità di funzionamento delle moderne centrali termiche a condensazione, sia a validare su base scientifica le specifiche esperienze maturate in questi anni nel settore della riqualificazione degli impianti in edifici esistenti.

In particolare si è dimostrato come, pur operando in un edificio obsoleto ed altamente disperdente senza intervenire in alcun modo sulla sua struttura, si possano conseguire comfort e risparmio energetico. La corretta scelta della tecnologia e una sua gestione opportuna, continuamente monitorata a distanza grazie alla supervisione remota, garantiscono infatti un incremento del rendimento di produzione stagionale e un sostanziale aumento anche degli altri rendimenti che contribuiscono all'ottenimento dell'efficienza complessiva di utilizzo del calore prodotto in centrale termica.

Così, pur operando in maniera continua con un fabbisogno di energia superiore (+ 25%) rispetto a quanto richiesto da un funzionamento intermittente, tipico della gestione degli edifici esistenti, si riscontra un consumo di metano che, grazie alla maggiore efficienza derivante dalla stessa modalità di funzionamento nella generazione, distribuzione ed utilizzo del calore, appare notevolmente ridotto (circa il 28%, arrivando al 43% volendo fare riferimento a un più adeguato livello di comfort nelle singole unità abitative).

Non secondario infine il beneficio ambientale ottenibile in quanto in questo ultimo caso si riducono ovviamente fino al 43% anche le corrispondenti emissioni di CO₂.

Questo uso più razionale dell'energia in Italia nel settore residenziale è in grado non solo di rispondere alle sempre maggiori richieste di comfort termico, ma nello stesso tempo può contribuire ad attenuare il consumo di CO₂. Pensando infatti di applicare la soluzione qui analizzata all'intero parco edilizio esistente le emissioni n di CO₂ potrebbero essere ridotte complessivamente di 18,7 x 10⁶ tonnellate, contribuendo ad una diminuzione del 3,4% delle totali emissioni di anidride carbonica del nostro Paese.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Documentazione tecnica ERRETIESSE.
- [2] ADAMI F., DEL LONGO A., “Caldaie a condensazione”, C.D.A., 3, 2004, pp. 83-87.
- [3] LAZZARIN R., *Le caldaie a condensazione, dalla teoria agli impianti*, Ed. PEG, Padova, 1985.
- [4] TSILINGIRIS P.T., “Parametric space Distribution effects of wall heat capacity and thermal resistance on the dynamic thermal behavior of walls and structures”, *Energy and Buildings*, 38, 2006, pp. 1200-1211.
- [5] TSILINGIRIS P.T., “Wall heat loss from intermittently conditioned spaces - The dynamic influence of structural and operational parameters”, *Energy and Buildings* 38, 2006, pp. 1022-1031.
- [6] BECKER R., “Effects of Heating Patterns on Internal Surface Temperatures and Risk of Condensation”, *Energy and Environment*, 28 N° 3, 1993, pp. 333-345.
- [7] ASAN H., “Effects of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor”, *Energy and Buildings* 28, 1998, pp. 299-305.
- [8] TSILINGIRIS P.T., “Thermal flywheel effects on the time varying conduction heat transfer through structural walls”, *Energy and Buildings*, 35, 2003, pp. 1037-1047.
- [9] LAZZARIN R., BUSATO F., CASTELLOTTI F., “Lo spessore ottimo di isolante”, C.D.A. 1, 2006, pp. 53-60.
- [10] CASTELLOTTI F., “Ridurre il carico estivo degli edifici - La funzione degli isolanti termici nel risparmio energetico”, C.D.A. 11, 2002, pp. 39-45.
- [11] TRNSYS Version 15, Solar Energy Laboratory - University of Wisconsin, Madison USA
- [12] BRUNELLO P., *Il rendimento di emissione dei terminali di impianto*. Convegno AICARR, Padova, 22 giugno 2006.
- [13] UNI 10348. *Riscaldamento degli edifici - Rendimenti dei sistemi di riscaldamento - Metodi di calcolo*.