



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

*Le caldaie per il riscaldamento degli edifici:
analisi della tecnologia*

Tutor Universitario: Prof. Angelo Zarrella

Laureando: Manuel Campello 1162408

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

SOMMARIO	5
INTRODUZIONE	6
Il comfort.....	6
Panorama storico delle tecnologie usate prima delle caldaie a gas	7
Scaldabagno a gas	8
CAPITOLO 1 - Caldaie a gas	10
1 Aspetto termodinamico	10
1.1 La combustione del metano.....	10
1.2 Il principio di funzionamento della caldaia a condensazione	11
1.3 Le perdite di energia	11
1.4 Il rendimento.....	12
2 Aspetto tecnologico	13
2.1 Materiali	13
2.2 Il fluido termovettore.....	14
2.3 Caldaia murale o a basamento.....	14
2.4 Produzione di ACS: caldaia istantanea o con bollitore	15
2.5 Il bruciatore	16
2.6 Dispositivi e misure di sicurezza.....	17
2.7 Ventilatore per la fornitura d'aria	18
2.8 Scheda elettronica.....	19
2.9 Il circolatore	19
2.10 Il camino	19
2.11 Vita utile di una caldaia	20
3 Caldaie Tradizionali e a condensazione	21
3.1 Funzionamento delle caldaie tradizionali e a bassa temperatura	21
3.2 Funzionamento delle caldaie a condensazione	21
3.3 Vantaggi della caldaia a condensazione.....	22
3.4 Svantaggi della caldaia a condensazione	23
4 Parametri di prestazione.....	23
4.1 Potenza Termica [kW]	23
4.2 Potenza nominale [kW].....	24
4.3 Rendimento termico utile [%]	24
4.4 Resistenza idraulica di flusso.....	26
CAPITOLO 2 - Impianti di riscaldamento	27

1	Componenti dell'impianto	27
1.1	Trattamento acqua.....	27
1.2	Addolcitore.....	28
1.3	Dispositivi di ritenzione delle impurità	29
1.4	Termostato.....	30
1.5	Valvola di intercettazione combustibile.....	31
1.6	Vaso di espansione.....	31
2	Impianti con termosifoni.....	32
2.1	Impianto monotubo	33
2.2	Impianto a due tubi.....	33
3	Impianti a pannelli radianti	33
3.1	Impianti a pavimento	34
3.2	Impianti a soffitto.....	34
4	Il libretto d'impianto della regione Veneto.....	34
4.1	Il libretto cartaceo	34
4.2	Il libretto elettronico	35
CAPITOLO 3 - Impatto ambientale		36
1	Consumi.....	36
1.1	La rete del metano in Italia	36
1.2	Consumi di gas naturale dovuti al riscaldamento domestico in Veneto.....	38
1.3	Il tubo Tucker	39
2	Analisi dei prodotti di combustione.....	39
2.1	Lo scopo dell'analisi	39
2.2	L'analizzatore di fumi	40
2.3	Lo scontrino dell'analisi fumi	42
3	Emissioni	43
3.1	Anidride carbonica (CO ₂).....	43
3.2	Monossido di carbonio (CO).....	44
3.3	Ossidi di zolfo (SO _x).....	44
3.4	Particolato solido (PM ₁₀).....	44
3.5	Ossidi di azoto (NO _x).....	45
3.6	Inquinamento acustico.....	45
3.7	La condensa acida	45
3.8	Effetto serra e riscaldamento globale.....	46
3.9	Inquinamento atmosferico e qualità dell'aria.....	46
3.10	Inquinamento dei generatori di calore a biomassa	47

CAPITOLO 4 - Quadro normativo	50
1 Le leggi più importanti nell'ambito del riscaldamento	50
1.1 Legge 10/91.....	50
1.2 Direttiva 92/42/CEE.....	50
1.3 Decreto 412/93	50
1.4 Decreto 12/4/96.....	51
1.5 Direttiva 2002/91/CE	51
1.6 Direttiva 2009/28/CE	52
1.7 Norma UNI 7129	52
2 Obblighi di legge.....	53
2.1 La manutenzione ordinaria	53
2.2 Obblighi di legge circa il rendimento di combustione	54
2.3 Limiti di impiego dei combustibili	54
3 Incentivi.....	54
3.1 Bonus 65% per l'installazione di caldaie a condensazione	55
3.2 Super bonus 110%.....	55
3.3 Il Conto Termico	56
CAPITOLO 5 - Tecnologie alternative	57
1 Generatori di calore a biomassa	57
1.1 La filiera della biomassa	57
1.2 Tecnologie dei combustori di piccola taglia	58
1.3 Aspetto economico	60
1.4 Confronto con la caldaia a gas a condensazione	60
1.5 Impatto ambientale	60
2 Tecnologie senza combustione.....	61
2.1 Collettori solari.....	61
2.2 Pompa di calore.....	62
2.3 Zero energy buildings.....	63
2.4 Teleriscaldamento.....	64
CONCLUSIONI	65
1 Vantaggi e svantaggi	65
2 Stato della ricerca e sviluppi futuri	66
Bibliografia	67
Riferimenti a siti internet	68

SOMMARIO

Questa relazione ha come principale obiettivo l'analisi delle caldaie a gas e il confronto con soluzioni alternative per il riscaldamento domestico.

La caldaia a gas naturale è una tecnologia consolidata per quanto riguarda il riscaldamento di ambienti e la produzione di acqua sanitaria, usata sia nel campo residenziale che nelle attività industriali e commerciali.

In questa relazione verranno analizzate le caldaie usate negli impianti di riscaldamento residenziali e negli uffici, tralasciando i bruciatori per le grandi potenze e le caldaie a vapore, per i quali si adottano considerazioni termodinamiche e scelte costruttive completamente diverse.

Lo scopo di quest'analisi è di conoscere i punti di forza, i limiti e l'impatto ambientale delle caldaie, valutando la possibilità di sostituirle con tecnologie alternative. Il lavoro è stato svolto consultando diversi libri e pubblicazioni tecniche autorevoli, manuali, riviste, giornali e banche dati di organizzazioni specializzate nel settore dell'energia, sia governative che private.

La relazione si divide in una prima descrizione tecnica del funzionamento e dei componenti della caldaia e del suo impianto, seguita da una parte di analisi dell'effetto della caldaia sull'ambiente, sotto forma di consumi ed emissioni. La parte successiva descrive i provvedimenti legislativi con cui gli operatori del settore si misurano.

L'ultima parte consiste in un'analisi di tecnologie alternative come le stufe a biomassa.

In conclusione questa relazione dimostra che le caldaie a gas, nonostante siano ancora una soluzione molto popolare per il riscaldamento domestico, possono essere sostituite da tecnologie alternative più sostenibili grazie ad un mercato competitivo e all'innovazione tecnologica.

INTRODUZIONE

Per caldaie si intendono le apparecchiature in cui avviene il trasferimento di energia termica dai prodotti della combustione al fluido termovettore. Sono costituite dal focolare, zona in cui avviene la combustione, dalla parte circostante nella quale scorre il fluido da riscaldare e da un rivestimento contenuto da un lamierino esterno. (Rossi 2013, p.906) In Italia esiste un parco caldaie di oltre 19 milioni di unità installate, composto per la maggior parte da apparecchi di età avanzata con rendimenti piuttosto bassi ed elevate emissioni. Si stima che più di 7 milioni di caldaie abbiano oltre 15 anni di età. Tuttavia, il mercato nazionale conta circa 850.000 caldaie vendute annualmente, quindi i modelli più obsoleti verranno sostituiti e, con il passare degli anni, sono destinati a sparire. [W.1] Data la grande diffusione delle caldaie a gas, è utile ed interessante riflettere sul loro funzionamento, sottolineando vantaggi e criticità che si accettano quando se ne installa una. È importante quantificare il loro contributo all'inquinamento e all'effetto serra, e offrire soluzioni ai problemi legati all'uso delle caldaie.

È necessaria una certa consapevolezza del contesto normativo e della mentalità degli operatori del settore, per capire le scelte che contribuiscono alla formazione del parco installato. Una tendenza attuale è di preferire sistemi a basse emissioni, per via di una crescente consapevolezza ambientale e delle stringenti normative sui dispositivi inquinanti.

In questo elaborato si vuole presentare la situazione della tecnologia caldaia a gas in ambito residenziale, quindi in particolare le caratteristiche tecniche e costruttive delle macchine più diffuse e il loro impatto ambientale. L'elaborato è suddiviso in cinque capitoli, preceduti da un'introduzione che fornisce il contesto storico.

Nella prima parte vi è una trattazione del principio termodinamico di funzionamento e delle caratteristiche costruttive delle caldaie a gas.

La seconda è dedicata agli impianti in cui le si può installare.

Nel terzo capitolo si prende in considerazione l'aspetto ambientale, legato al consumo di energia primaria e alle emissioni di sostanze nocive per l'uomo e per il pianeta.

Il quarto capitolo è dedicato al quadro normativo, agli incentivi e agli obblighi di legge specifici del settore.

Conclude il quinto capitolo, dove vengono presentate alcune tecnologie alternative alla caldaia a gas nel settore del riscaldamento residenziale.

Il comfort

Lo scopo delle caldaie e degli impianti di riscaldamento in generale è di garantire il comfort delle persone in un edificio, particolarmente in inverno.

Il comfort è uno stato di benessere soggettivo a cui contribuiscono diversi fattori, tra questi la temperatura degli ambienti interni. Lo scopo delle caldaie è di fornire calore ad un impianto idronico di riscaldamento che lo emette negli ambienti da riscaldare.

In questa relazione verrà analizzato solo l'aspetto di riscaldamento legato al comfort invernale. Tuttavia, con il miglioramento delle condizioni di vita, in molti paesi si è affermato il bisogno di comfort estivo ed è quindi aumentata la domanda di sistemi di condizionamento e climatizzazione. Questi permettono di raffreddare d'estate e di regolare non solo la temperatura, ma anche l'umidità.

Il bisogno di fresco cresce perché sempre più persone possono permettersi gli impianti dedicati, e la loro efficacia si è ormai consolidata e affermata. È quindi immediatamente

evidente un limite delle caldaie: esse possono provvedere solo alla funzione di riscaldamento, rendendo necessario l'acquisto di una macchina separata per garantire il comfort d'estate.

Panorama storico delle tecnologie usate prima delle caldaie a gas

Il bisogno di comfort è importante e antico: nel corso della storia si sono susseguite numerose tecnologie per il riscaldamento degli ambienti.

Oltre un milione di anni fa, l'*Homo erectus* iniziò ad usare il fuoco sotto forma di falò per ottenere luce e calore, principalmente per scaldarsi e cuocere il cibo.

È la forma più umile di riscaldamento, ma è stata usata per tutta la storia dell'uomo e continua ad essere usata ancora oggi dalle popolazioni più povere, che non hanno alternative migliori al riscaldamento basato su combustione di biomassa.

Questo consumo di biomassa "non commerciale" da parte delle popolazioni povere è stimato dall'International Energy Agency al 9.5% del consumo mondiale di energia primaria, ovvero 1310 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio su un totale 13792 MTep ogni anno.

Una forma più sofisticata di riscaldamento era l'ipocausto, un sistema che gli antichi romani hanno ereditato dall'antica Grecia. Consiste nella circolazione di aria calda entro cavità poste nel pavimento e nelle pareti del luogo da riscaldare. Era usato nelle terme romane e nelle ville più lussuose. Era alimentato da un grande forno che produceva aria calda ad alta temperatura. Questa veniva fatta defluire in uno spazio vuoto predisposto sotto il pavimento e all'interno delle pareti, per quasi tutta la loro estensione, attraverso tubi in laterizio. Gli ipocausti sono rimasti in uso nell'area mediterranea anche nel medio evo. [W.32]

Nei secoli successivi sono stati usati impianti di riscaldamento ad acqua: il Palazzo d'Estate a San Pietroburgo è un ottimo esempio di questa tecnologia.

Va sottolineato che queste tecnologie erano destinate agli edifici più lussuosi, mentre la maggior parte delle persone non aveva accesso alle tecnologie di riscaldamento degli edifici. Fino a qualche decennio fa, molte abitazioni non erano dotate nemmeno di servizi interni, e i problemi di igiene non mancavano: nei casi migliori si aveva un impianto fognario e un impianto idrico interno.

Nella maggior parte dei casi, si è iniziato a costruire edifici con impianti di riscaldamento solo quando la disponibilità e il prezzo dei combustibili lo hanno reso economicamente fattibile.

I primi impianti di riscaldamento erano costituiti essenzialmente da una caldaia a basamento, radiatori in ghisa e un vaso di espansione aperto.

Le tubazioni erano posate in pendenza, in modo da garantire la circolazione naturale dell'acqua. Solo successivamente si sono installati i circolatori per movimentare l'acqua. Si avevano vasi di espansione aperti collocati in posizione elevata rispetto al resto dell'impianto, in modo da dare la dovuta pressione allo stesso.

I primi generatori di calore erano a Carbone, a Nafta e a Gasolio. Solo negli anni '80 circa si è iniziato ad installare caldaie a gas.

Il boom degli impianti a pavimento si ebbe nel dopoguerra con la realizzazione di alcuni impianti per alloggi che però presentavano problematiche di malessere e di gestione, tali da provocare un drastico crollo di installazioni. La riscoperta avvenne negli anni '70 grazie all'adozione di migliori tecniche, norme sul contenimento dei consumi energetici, utilizzo di materassini isolanti e utilizzo di opportuni sistemi di regolazione. [W.2]

Le caldaie a gas hanno visto miglioramenti d'efficienza dovuti alla competizione di numerosi produttori a livello internazionale, ad una progettazione sempre più accurata e all'introduzione della tecnologia a condensazione. Notevoli sforzi sono stati fatti per ridurre le emissioni di anidride carbonica e composti nocivi.

Negli ultimi anni si stanno diffondendo diverse tecnologie ad alta efficienza energetica. Le pompe di calore, abbinate ad un impianto a pavimento, possono fornire calore senza emettere anidride carbonica, usando l'energia elettrica proveniente da fonti energetiche pulite.

I pannelli solari termici sono un'altra soluzione per la produzione di acqua calda a temperatura inferiore a 100°C, utile per il riscaldamento di ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

Il teleriscaldamento permette di centralizzare il fabbisogno termico di molti edifici per soddisfarlo con impianti più potenti, che spesso vantano una progettazione più accurata e migliori rendimenti.

Esistono anche tecnologie sperimentali, che potrebbero, in futuro, rivoluzionare il mercato del riscaldamento domestico. Tra queste spicca la micro-cogenerazione ad uso domestico basata sull'idrogeno per produrre calore ed energia elettrica sufficienti a soddisfare il fabbisogno dell'abitazione. Le caldaie ad idrogeno non hanno ancora sollevato un grande interesse tecnico, ma esistono progetti di ricerca in corso.

Infine, gli zero energy buildings (case passive) sono costruiti in modo da non richiedere una caldaia per il riscaldamento, dato che il loro carico termico invernale è considerevolmente basso.

Scaldabagno a gas

Prima della diffusione su larga scala delle caldaie a gas e degli impianti di riscaldamento ad acqua calda nelle abitazioni si installava lo scaldabagno, un dispositivo con la funzione di riscaldare l'acqua di un impianto idraulico per utilizzi sanitari, ovvero di produrre solo ACS. È indipendente dall'impianto di riscaldamento domestico, che a volte non era presente nell'abitazione. I modelli si diversificano per dimensioni, combustibile impiegato, metodo di riscaldamento e tempo di recupero. A seconda della taglia (potenza termica, in kW) possono essere destinati ad uso domestico o commerciale. Possono essere a riscaldamento diretto o indiretto. Nel primo caso, il calore arriva da una combustione all'interno della macchina: la fiamma colpisce una parete metallica e cede calore all'acqua. Nel caso del riscaldamento indiretto il calore arriva all'acqua tramite un altro fluido termovettore.

Scaldabagno con minor tempo di recupero possono coprire domande maggiori di energia termica, perché bruciano una portata maggiore di combustibile e scaldano più acqua. Uno scaldabagno istantaneo è composto da uno scambiatore di rame a forma di spirale, sospeso sopra i bruciatori. Appena c'è richiesta di acqua calda, una fiamma pilota già accesa riceve un maggior contributo di combustibile, che brucia subito e fornisce all'acqua il calore necessario. Non è previsto un serbatoio di acqua calda. È ideale per l'uso intermittente. (Brumbaugh 2004, p.179-189)

Lo scaldabagno a gas ha bisogno di aria e combustibile per comporre la miscela da immettere in camera di combustione. Esistono anche scaldabagno elettrici, in cui la fonte di calore è l'effetto Joule di una resistenza elettrica percorsa da corrente. Per ridurre i costi di esercizio è necessario optare per taglie ridotte, usando quindi serbatoi più o

meno grandi a seconda della domanda di calore. Anche i pannelli solari possono produrre ACS, rendendoli funzionalmente analoghi ad uno scaldabagno.
(Brumbaugh 2004, p.220)

CAPITOLO 1 - Caldaie a gas

1 Aspetto termodinamico

In questo paragrafo verranno introdotti i principi fondamentali e i concetti termodinamici usati per studiare il funzionamento e le prestazioni delle caldaie a condensazione a metano. Le caldaie tradizionali non verranno trattate approfonditamente perché hanno un'efficienza termica peggiore e dal 2015 non si possono più installare.

Il potere calorifico inferiore (PCI) indica la quantità di calore che può essere ricavata da un metro cubo di gas o da un chilogrammo di gasolio. Con questa grandezza di riferimento i prodotti di combustione si trovano allo stato gassoso.

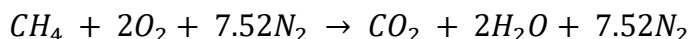
Rispetto al PCI, il potere calorifico superiore (PCS) include come quota di energia aggiuntiva il calore di condensazione del vapore acqueo. Conviene quindi sfruttare il PCS del combustibile per evitare perdite di calore nei fumi di scarico. (Buderus 2014, p.6)

1.1 La combustione del metano

La combustione in una caldaia è una reazione chimica di ossidazione tra un combustibile e l'ossigeno contenuto nell'aria comburente che sviluppa calore. Nella combustione vale la legge di conservazione di massa: il combustibile e l'aria comburente in ingresso diventano vapore acqueo e anidride carbonica nei fumi di scarico. In condizioni reali, i fumi possono contenere anche composti nocivi quali anidridi solforose (NOx), monossido di carbonio (CO), incombusti e particolato. Queste sostanze si formano in camera di combustione.

Verrà esposta la combustione del gas naturale, che per questa trattazione si assume essere composto solamente da metano (CH₄). Nelle caldaie ad uso domestico più recenti il metano è il combustibile privilegiato per il basso costo, la disponibilità (da metanodotti), la pulizia e le ridotte emissioni.

La formula della combustione stechiometrica del metano è:



In cui l'azoto è fornito dall'aria comburente, ma non partecipa alla reazione. L'eccesso d'aria in camera di combustione è di fondamentale importanza nella determinazione dell'efficienza della combustione, e va regolato accuratamente. La combustione può avvenire solo entro certi limiti del rapporto aria-combustibile, diversi per ogni combustibile. Troppa aria riduce la temperatura di combustione e l'efficienza di trasmissione del calore. Se l'eccesso d'aria è insufficiente, si ha combustione incompleta, ovvero non tutto il carbonio contenuto nel combustibile si trasforma in CO₂. In questo caso ci sono perdite di energia chimica del combustibile attraverso i fumi di scarico, con svantaggi economici e danni ambientali. L'eccesso d'aria ottimale è tra il 10% e il 40%.

La temperatura in camera di combustione può raggiungere (in teoria) i 1100 – 1200 °C, ma i terminali dell'impianto di riscaldamento, a seconda della tipologia, operano a 30-60°C: la caldaia non è in grado di sfruttare il calore prodotto in modo ottimale. Ha quindi un rendimento exergetico molto basso, ovvero degrada l'energia del combustibile che brucia. (Kreider 2001, p.210)

1.2 Il principio di funzionamento della caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione è realizzata con uno scambiatore di calore in controcorrente. Poiché la direzione dell'acqua di riscaldamento è contraria rispetto alla corrente del gas scaldante, il tasso di condensazione è elevato e la temperatura dei gas combusti è ridotta. Il lungo percorso di trasmissione del calore, in combinazione con un'elevata quantità di acqua di caldaia, riduce la formazione di calcare all'interno della caldaia e i conseguenti problemi. (Buderus 2014, p.12,13)

La quantità di calore di condensazione recuperabile e il rendimento dipendono dalla dimensione e dalle temperature dell'impianto di riscaldamento in cui è installata la caldaia. Per rendere utilizzabile il calore di condensazione del vapore acqueo contenuto nel gas scaldante, bisogna raffreddarlo fin sotto al punto di rugiada.

La temperatura del punto di rugiada, che cresce con la quantità di CO₂ contenuta nei gas combusti, è pari a circa 50-55 °C per caldaie a gas naturale. È minore per le caldaie a gasolio, che sono più svantaggiate da questo punto di vista. Durante il funzionamento viene prodotta condensa acida, ovvero una miscela di acqua e composti dello zolfo che era presente nel gas naturale. (Buderus 2014, p.7)

1.3 Le perdite di energia

Le principali perdite in una caldaia sono dovute a:

- Calore sensibile e latente non recuperato dai fumi: anche nelle caldaie a condensazione i fumi escono dal camino a temperatura maggiore del combustibile immesso in caldaia;
- Umidità dell'aria comburente e del combustibile, che viene fatta evaporare consumando calore utile;
- Combustione incompleta del gas naturale, che di fatto costringe a scaricare in atmosfera una quantità di metano ancora utilizzabile;
- Conduzione, convezione e irraggiamento verso il locale d'installazione della caldaia. (Kreider 2001, p.210)

1.4.2 Perdite di calore latente di condensazione

La quantità di calore latente è pari a 11% nel caso del gas metano, con riferimento al PCI. Questa quantità di calore non viene sfruttata nelle caldaie a basse temperature, ma la caldaia a condensazione ne permette l'utilizzo attraverso la condensa del vapore acqueo. Le perdite vengono così ridotte ma non eliminate, perché dalla condensazione si riesce a recuperare solo una parte del calore.

1.4.3 Perdita di calore sensibile nei gas combusti

Nella caldaia a bassa temperatura i fumi fuoriescono con temperature relativamente alte, maggiori di 150°C. Si perde così circa il 7% di calore, che non viene utilizzato. Questa è la perdita di entità maggiore nelle caldaie, ed è quindi fondamentale diminuirla il più possibile. La riduzione fino a 30 °C delle temperature dei gas combusti nella caldaia a condensazione sfrutta la quantità di calore sensibile nel gas scaldante e abbassa considerevolmente la perdita dovuta al contenuto termico dei fumi. (Buderus 2014, p.29)

1.4 Il rendimento

La caldaia a condensazione ricava calore sfruttando il PCS di un combustibile. Per il calcolo del rendimento, nella normativa europea è stato scelto di usare il PCI con 100% come valore di riferimento. In questo modo è possibile confrontare fra loro le caldaie a basse temperature (i modelli tradizionali, che sfruttano solo il PCI del combustibile) e le caldaie a condensazione, che con questa convenzione possono avere rendimenti superiori al 100%. Il rendimento termico di una caldaia vale:

$$\eta = \frac{\dot{m}_w * (h_{w,out} - h_{w,in})}{\dot{m}_{fuel} * PCI}$$

Dove al numeratore si considera l'aumento di entalpia dell'acqua (w) in caldaia. In confronto alle caldaie a basse temperature, con i modelli a condensazione è possibile raggiungere rendimenti superiori anche del 15 %. Confrontando il consumo energetico delle due soluzioni si ottiene un bilancio energetico come quello rappresentato nella Figura 1.

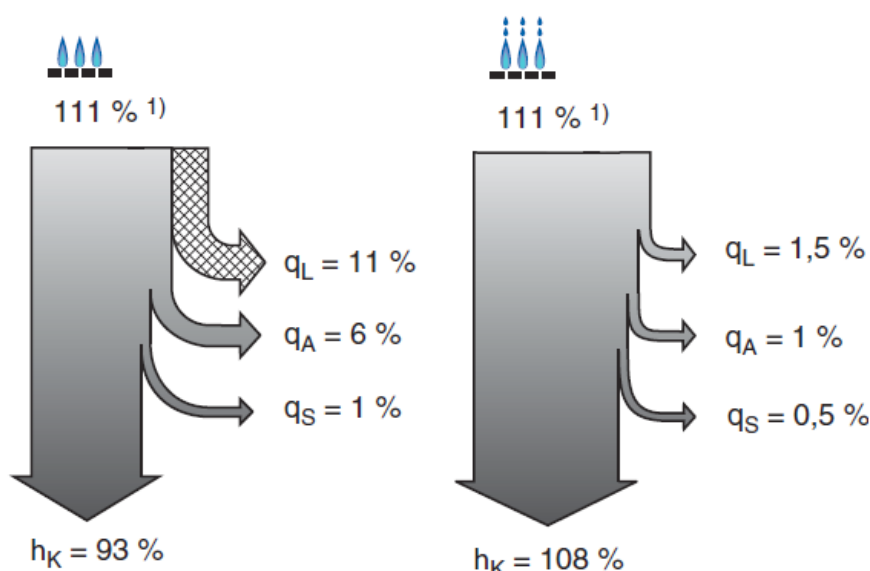


Figura 1 Bilancio energetico di una caldaia a bassa temperatura (a sinistra) e una caldaia a condensazione (a destra), con riferimento PCI = 100%, q_A = perdite di calore sensibile, q_L = perdite di calore latente, q_S = perdite per irraggiamento al mantello, h_K = rendimento caldaia (Fonte: Buderus)

Gli elevati rendimenti delle caldaie a condensazione sono dovuti a questi aspetti:

- Elevata produzione di CO₂. Più è alto il valore di CO₂, maggiore sarà la temperatura del punto di rugiada dei gas combusti, facilitando il recupero di calore;
- Bassa temperatura di ritorno dell'acqua dall'impianto: più bassa è, maggiore sarà il tasso di condensazione e minore la temperatura gas combusti. Da questo punto di vista gli impianti a pavimento sono favoriti rispetto agli impianti con termosifoni.

La conseguenza è un utilizzo quasi totale del calore contenuto nel gas scaldante e un utilizzo parziale del calore di condensazione presente nel vapore acqueo. (Buderus 2014, p.6,8)

Se la caldaia ha un bruciatore a uno o due stadi, la regolazione per coprire il carico termico variabile è del tipo on-off. Il rendimento cala a carico parziale, perché il bruciatore ha dei transitori di accensione e spegnimento più frequenti. Al carico massimo il numero

di cicli on-off diminuisce e l'efficienza può raggiungere il valore di picco. Di conseguenza, una caldaia sovradimensionata sarà sottoposta a stress termici più severi, e avrà una durata di vita minore. Il rendimento medio stagionale risulta inferiore del rendimento massimo riportato dal costruttore perché nel lungo periodo i fenomeni legati ai carichi parziali e alla regolazione non ottimale contribuiscono alle perdite di energia nella caldaia. (Kreider 2001, p.213)

L'efficienza della combustione migliora se la temperatura in camera di combustione è alta. La si aumenta diminuendo l'eccesso d'aria, compatibilmente con i limiti dei materiali. Anche il preriscaldamento dell'aria comburente ha effetti positivi sull'efficienza della combustione, se si recupera il calore per preriscaldarla dai fumi di scarico.

2 Aspetto tecnologico

In questo paragrafo verranno presentati i limiti fisici della macchina e il funzionamento dei componenti che realizzano i processi termodinamici precedentemente esposti.

2.1 Materiali

Secondo la termodinamica, l'efficienza di scambio termico della combustione aumenta all'aumentare della temperatura raggiunta in camera di combustione. Tuttavia, la resistenza alle deformazioni ad alta temperatura (creep) dei materiali della caldaia impone un limite pratico a circa 1100°C in camera di combustione. Tale temperatura è raggiungibile solo nelle macchine di grossa taglia, dove si possono giustificare misure di progettazione più costose per ottenere un rendimento termico migliore e risparmiare tonnellate di combustibile ogni anno.

Nelle caldaie a gas di piccola taglia i costruttori preferiscono ridurre al minimo il costo di produzione, quindi non è possibile usare sistemi sofisticati di controllo della temperatura, che può raggiungere al massimo 700°C.

Nelle caldaie ad uso domestico, in particolare in quelle più economiche, si tende a ridurre il costo dei materiali sostituendo, dove possibile, le parti in metallo con quelle in plastica. Aumentano i costi delle manutenzioni non programmate, perché i componenti di plastica sono più propensi a rompersi e vanno sostituiti più spesso.

Nelle caldaie a condensazione tutti i componenti a contatto con il gas scaldante o la condensa corrosiva sono realizzati in acciaio inossidabile o in materiale plastico composito. Lo scambiatore dev'essere resistente alla fiamma e alla corrosione. In questo modo viene garantito un utilizzo sicuro e duraturo nel tempo in applicazioni residenziali e commerciali.

Il materiale della condotta di scarico dei fumi deve essere in grado di sopportare la loro temperatura, che può anche essere inferiore ai 40°C. Deve inoltre resistere all'umidità e alla condensa acida. Per le condotte si usano acciaio inossidabile e plastica. (Buderus 2014, p.77)

Le caldaie in ghisa sono caratterizzate dall'ottima resistenza alla corrosione sia lato fumi, sia lato acqua. Un aspetto negativo è la fragilità della ghisa, per cui le caldaie non tollerano variazioni brusche di temperatura.

Le caldaie in acciaio sono ormai diffusissime perché hanno una bassa inerzia termica, si possono riparare con saldature e supportano elevati valori di pressione, temperatura e carico termico specifico (in Watt su m² di superficie di scambio). Il principale inconveniente delle caldaie in acciaio è l'elevato rischio di corrosione. (Rossi 2013, p.908)

2.1.1 Isolamento termico e acustico

Le caldaie a condensazione possono essere dotate di un isolamento termico su tutti i lati del corpo caldaia. Esso permette di ridurre al minimo le perdite di calore verso l'esterno, ma comporta un costo aggiuntivo legato alla quantità e alla qualità del materiale isolante usato. L'isolante diventa particolarmente importante per caldaie installate all'esterno delle abitazioni e quindi più esposte alle basse temperature invernali.

Possono anche essere adottati accorgimenti per ridurre o assorbire le emissioni acustiche generate. Si usa materiale fonoassorbente nelle pareti della caldaia e si installa un silenziatore sul tubo di aspirazione dell'aria comburente. (Buderus 2014, p.16)

2.2 Il fluido termovettore

Il fluido termovettore raccoglie il calore prodotto dalla combustione e lo distribuisce ai terminali dell'impianto di riscaldamento. Nelle caldaie per uso domestico il fluido termovettore è sempre acqua. Viene portata a una temperatura massima di esercizio tipicamente inferiore a 90°C.

I generatori ad aria calda, come le stufe a legna o i camini, sono costituiti da un focolare attorno al quale circola l'aria, in modo naturale o con l'aiuto di ventilatori. L'aria riscaldata dal focolare viene immessa direttamente nella stanza della stufa o convogliata verso altri ambienti con appositi canali.

Altri tipi di fluido termovettore sono usati in caldaie di potenza maggiore per processi industriali o produzione di energia. In tali applicazioni è giustificabile usare vapore o olio diatermico come termovettore perché, a parità di massa del fluido circolante, aumenta la capacità dell'impianto di trasportare calore. (Rossi 2013, p.910)

2.3 Caldaia murale o a basamento

La caldaia murale è appesa al muro, la caldaia a basamento è appoggiata a terra.

Le caldaie a basamento, a differenza delle caldaie murali, sono apparecchi pesanti e voluminosi, a causa della presenza di serbatoi ad accumulo integrati. Hanno un'ampia camera di combustione e prestazioni elevate. Sono pensate per gli edifici più grandi. Date le dimensioni elevate, spesso sono previsti più punti simultanei di prelievo per l'acqua sanitaria. In generale la caldaia è in acciaio e consente l'integrazione con corpi scaldanti con temperatura inferiore ai 100°C.

Negli appartamenti urbani, dove la caldaia a basamento è troppo ingombrante, è praticamente inevitabile installare caldaie murali, interne o esterne all'edificio. Anche nelle abitazioni rurali più grandi si tende ad installare caldaie murali perché hanno un design più discreto e sono più facili da nascondere all'interno di una nicchia o di un armadietto. Questo non è un compromesso, perché le moderne caldaie murali di taglia maggiore possono soddisfare anche le esigenze di famiglie numerose e villette di grandi dimensioni.

Le caldaie a basamento, al contrario, sono difficili da integrare all'interno di una casa e vengono installate per lo più in contesti industriali o commerciali.

In sintesi, il criterio per decidere se installare una caldaia a basamento o una caldaia murale è di carattere estetico. [W.3]

2.4 Produzione di ACS: caldaia istantanea o con bollitore

La caldaia a gas può essere usata anche per produrre acqua calda sanitaria, senza bisogno di installare uno scaldabagno dedicato.

Collegando la produzione di acqua calda sanitaria a una caldaia, il generatore deve essere dimensionato in modo che la potenza minima del bruciatore non superi la potenza di scambio dello scambiatore di calore per ACS, altrimenti si verificherebbero transitori termici dannosi causati dai continui avvii e spegnimenti del bruciatore. Questo problema non è presente nelle moderne caldaie a condensazione con bruciatori modulanti, perché adattano la potenza all'effettivo fabbisogno termico. Tale considerazione è particolarmente importante se si installano caldaie di taglia elevata, maggiore di 50 kW. (Buderus 2014, p.48)

Se l'acqua da scaldare è dura, dev'essere previsto l'addolcimento.

I sistemi di produzione ACS possono essere istantanei o con serbatoio. (Kreider 2001, p.216)

La caldaia a condensazione con funzionamento "istantaneo" si attiva nel momento in cui viene prelevata ACS e riscalda l'acqua per soddisfare la richiesta immediatamente.

La caldaia istantanea è ideale per piccoli appartamenti o case con pochi abitanti perché è un ottimo compromesso tra prestazioni e ingombri. Infatti, in un appartamento abitato da una o due persone e con un solo bagno i consumi medi non giustificerebbero il sovrapprezzo di una caldaia ad accumulo.

In questi casi una caldaia istantanea è sufficiente a soddisfare il fabbisogno giornaliero, ma in villette con più bagni e più abitanti farà fatica a coprire più carichi contemporanei. [w.4]

La tecnologia istantanea è più adatta a carichi termici costanti e senza picchi, evita il costo del serbatoio ma necessita di potenza termica maggiore per produrre tempestivamente l'acqua calda. (Kreider 2001, p.216)

Diversamente, la caldaia con accumulo è dotata di un serbatoio in cui l'acqua calda è mantenuta alla temperatura desiderata. La capacità dei serbatoi più venduti va dai 60 ai 200 litri. Nel momento in cui l'acqua viene prelevata dal serbatoio e utilizzata per soddisfare le esigenze domestiche, se il fabbisogno è elevato la caldaia si attiva e reintegra quanto è stato prelevato.

Nella caldaia ad accumulo la disponibilità dell'acqua è abbondante, immediata e stabile nel tempo. È possibile richiedere elevate portate a temperature alte e costanti. Si possono soddisfare quindi richieste contemporanee di acqua calda in più punti dell'edificio. Questa soluzione è ideale per garantire il comfort in edifici di grandi dimensioni con più di un bagno e per famiglie numerose.

Tuttavia, una caldaia con bollitore occupa più spazio, e alcune di queste possono essere troppo pesanti per l'installazione murale, oppure richiedere un locale dedicato. [W.4]

La corrosione è un problema importante nel serbatoio, per le caldaie che lo prevedono. Si usano anodi sacrificali al magnesio in modo che il processo di corrosione interessi l'anodo prima di attaccare le pareti del serbatoio. L'anodo dev'essere sostituito periodicamente per non compromettere la durata del serbatoio.

In sintesi, per scegliere tra una caldaia con accumulo e caldaia istantanea si valuta il profilo di consumo dell'utenza. Questo dipende dalle dimensioni dell'abitazione, dal numero di abitanti, dalla quantità d'acqua che può essere prodotta, dalla sua temperatura e dal tempo di attesa tollerabile per l'erogazione. Tra le caldaie a

condensazione, le caldaie con accumulo sono le più acquistate per le loro prestazioni elevate. [W.4]

2.4.1 Serbatoio a stratificazione

Questi serbatoi sfruttano il fenomeno della stratificazione dell'acqua: l'acqua calda e fredda tendono a comportarsi come se fossero due liquidi distinti, rimanendo separati all'interno dello stesso contenitore, con l'acqua calda che si concentra nella parte alta del serbatoio e quella fredda in basso. Se si favorisce questo fenomeno si può prelevare acqua molto calda dall'inizio alla fine del periodo di richiesta, come se il serbatoio contenesse solo acqua ad alta temperatura, mentre senza la stratificazione si preleverebbe acqua mescolata e quindi tiepida. La stratificazione nei serbatoi di accumulo permette anche di immagazzinare in un unico serbatoio i contributi di differenti fonti di calore. È il caso di un impianto con caldaia e pannelli solari termici. [W.5]

2.5 Il bruciatore

Il bruciatore riceve il combustibile (gas naturale) e il comburente (aria), li miscela e sviluppa la fiamma che, bruciando in camera di combustione, cede calore al fluido di lavoro attraverso gli scambiatori per l'impianto di riscaldamento o di ACS.

Per le caldaie a condensazione a gas sono necessari bruciatori specifici con ventilatore. Devono essere omologati a norma e avere il marchio CE.

Possono essere a due stadi, cioè con regolazione a gradini molto grossolana, o modulanti. È consigliato utilizzare bruciatori modulanti perché offrono una regolazione più fine. Il componente centrale di un bruciatore premiscelato a gas modulante è la testa di combustione, nella cui zona di miscelazione l'aria comburente e il gas combustibile vengono mescolati e distribuiti uniformemente su tutta la superficie. La superficie di fiamma larga e la distribuzione uniforme della miscela favoriscono la combustione a basse temperature e con emissioni di NOx ridotte.

Un obiettivo della regolazione è raggiungere lunghi tempi di accensione del bruciatore per evitare rapidi cambiamenti di temperatura in caldaia, perché queste variazioni riducono la durata di vita della macchina. (Buderus 2014, p.31,36)

Il bruciatore di una caldaia può avere rapporto di modulazione 1:10, ovvero la potenza termica prodotta può scendere fino a 10% della potenza nominale. Questo funzionamento è ottimo per il riscaldamento, mentre di fronte alla domanda di ACS si preferisce lavorare a potenza maggiore, per avere una produzione più veloce.



Figura 2 Bruciatore a gas Ecoflam BLU 1700.1 PR (Fonte: Ecoflam)

Il bruciatore deve assicurare la combustione completa in camera di combustione e deve contenere le emissioni di CO e NOx entro i limiti di legge. (Grimm & Rosaler 1998, p.134-136)

I bruciatori per combustibili gassosi possono essere atmosferici o ad aria soffiata.

Nei primi il combustibile viene portato ad un ugello dal quale esce a velocità tale da richiamare l'aria primaria necessaria alla combustione, aspirandola. La miscela esce poi dai fori della piastra del bruciatore, si mescola anche con l'aria secondaria e brucia. (Rossi 2013, p.960)

Questo tipo di bruciatore è alquanto semplice e il suo funzionamento non richiede alcuna forza esterna. Copre una gamma di potenze relativamente basse ed è adatto per il riscaldamento di singoli appartamenti e abitazioni. È molto silenzioso perché è privo di organi meccanici in movimento.

Nei bruciatori ad aria soffiata invece l'apporto d'aria è garantito da un ventilatore.

I modelli usati per il riscaldamento centralizzato degli edifici sono del tipo ad aria soffiata. Esistono ancora, soprattutto nei vecchi edifici, apparecchi a camera aperta a tiraggio naturale. Sono in assoluto i più pericolosi, a causa del rischio di rigurgito di monossido di carbonio nei locali abitati. Il gas naturale è usato come combustibile sia nelle aree urbane, sia nelle zone rurali. Oltre al gas naturale del metanodotto, il bruciatore può essere configurato anche per l'uso di propano o gas di petrolio liquefatto (GPL). Quest'ultimo viene usato in alcune abitazioni in zone rurali. (Brumbaugh 2008, p. 57,60)

2.6 Dispositivi e misure di sicurezza

Il funzionamento della caldaia viene regolato e mantenuto sicuro dai dispositivi ausiliari e dai meccanismi di sicurezza, principalmente sonde e attuatori collegati ad una scheda elettronica, programmata per mantenere i parametri di lavoro della caldaia all'interno dei margini ottimali di sicurezza ed efficienza.

Una caldaia di potenza termica pari a 60 kW a pieno carico consuma circa 100 W di energia elettrica per tenere accesi gli ausiliari. (Buderus 2014, p.27)

I dispositivi di sicurezza obbligatori per un impianto con caldaia di potenza maggiore di 35 kW e a vaso chiuso possono essere di tipo meccanico o elettrico, e agire sulla temperatura o sulla pressione del fluido. (Buderus 2014, p.48)

La temperatura viene controllata dal termostato di lavoro e da quello di sicurezza. Quest'ultimo interrompe l'alimentazione del bruciatore se vengono raggiunti valori di temperatura dell'acqua prossimi ai 100°C. La valvola di intercettazione combustibile interrompe il flusso del combustibile. La pressione viene controllata dai pressostati di minima e massima, che esercitano la loro funzione di sicurezza interrompendo l'alimentazione elettrica. La valvola di sicurezza scarica il fluido dell'impianto in un condotto dedicato quando la pressione d'acqua sale ad un livello intollerabile.

La camera di combustione deve essere raffreddata dal fluido termovettore, che deve assorbire il calore della fiamma per evitare lo scioglimento delle pareti di scambio termico. In una caldaia domestica progettata male potrebbe formarsi vapore per l'eccessivo calore nelle pareti di scambio. Questo potrebbe sia surriscaldare il metallo dello scambiatore, sia generare cavitazione nei circolatori.

La circolazione dell'acqua nella caldaia va curata per evitare picchi di temperatura in punti localizzati (hotspots) che danneggerebbero il materiale per surriscaldamento.

Se la portata d'acqua misurata dal sistema di controllo non basta ad asportare tutto il calore generato in camera di combustione, si spegne la caldaia per tutelarne l'integrità. (Grimm & Rosaler 1998, p.134-136)

2.7 Ventilatore per la fornitura d'aria

L'aria viene prelevata dall'esterno e inviata alla camera di combustione attraverso un sistema composto dal ventilatore e dal tubo di aspirazione con eventuale silenziatore.

È necessario assicurarsi che l'aria comburente non abbia un'elevata concentrazione di polveri o composti alogeni corrosivi, altrimenti la camera di combustione e le superfici di scambio termico potrebbero danneggiarsi. La conduttura dell'aria comburente deve essere progettata in modo tale che non venga aspirata aria contaminata da detergenti chimici o vernici. (Buderus 2014, p.44)

Esistono le caldaie con focolare in depressione rispetto all'esterno e quelle con focolare in pressione.

Nelle prime, la combustione avviene a pressione inferiore a quella atmosferica e i prodotti della combustione sono evacuati per effetto del tiraggio del camino a cui è collegata la caldaia. Per diminuire la resistenza incontrata dai fumi, le velocità devono essere basse e così anche lo scambio termico è basso.

Nelle caldaie pressurizzate il bruciatore è dotato di un ventilatore che immette l'aria comburente nella corrente di combustibile, consentendo di raggiungere elevate velocità dei fumi e un elevato scambio termico. La sovrappressione in camera di combustione si esaurisce all'uscita del generatore per cui il tiraggio del camino deve far fronte alle sole perdite di carico della canna fumaria.

Il funzionamento con focolare in pressione permette maggiore velocità dei fumi, quindi migliore scambio termico nel percorso dei fumi. Anche il rendimento di combustione è maggiore, perché grazie al ventilatore la quantità d'aria immessa in camera di combustione non dipende dal tiraggio del camino. In questo caso si può ridurre l'eccesso d'aria anche se il tiraggio è basso.

All'aumentare della velocità dei fumi lo scambio termico convettivo migliora, ma aumentano anche la resistenza al moto e la richiesta di potenza per il ventilatore di aspirazione. (Rossi 2013, p.909)

2.8 Scheda elettronica

Nel contesto dell'elettronica di consumo, la scheda madre di un dispositivo è quel dispositivo che raccoglie tutti i circuiti stampati, i collegamenti di interfaccia tra i componenti interni principali, i bus di espansione e le interfacce verso le periferiche esterne. Serve in particolare a regolare tutte le funzioni della caldaia, tramite sensori (termostati, pressostati) e attuatori (pompa, valvola del gas) connessi ai terminali della scheda.

La scheda presenta un display, in alcuni modelli provvisto solo di tre cifre. È usato per impostare manualmente i parametri di funzionamento. Vengono anche mostrati i codici di errore per diagnosticare i problemi della caldaia.

La scheda è particolarmente sensibile a scariche elettriche, sbalzi di tensione, infiltrazioni d'acqua, ossidazione, usura dei cablaggi e sostanze corrosive. [W.6]

La scheda elettronica interagisce con i sensori della caldaia per misurare la temperatura di mandata e di ritorno, la temperatura dell'ACS, la temperatura fumi, la presenza di gas, la presenza di fiamma e la presenza di acqua.

2.9 Il circolatore

Il circolatore ha la funzione di far girare l'acqua calda nei circuiti idraulici. In funzione riscaldamento spinge l'acqua scaldata nello scambiatore della caldaia verso i termosifoni per trasmettere il calore generato. L'acqua calda che circola dentro ai radiatori si raffredda e torna alla caldaia dal lato della tubazione del ritorno.

Durante la produzione di ACS il circolatore convoglia l'acqua dell'impianto di riscaldamento in uno scambiatore a piastre dove questa cede calore all'acqua calda sanitaria senza mescolarsi con essa.

Il mercato mette a disposizione una gamma molto estesa di pompe centrifughe e si va dai piccoli circolatori alle grandi pompe ad asse orizzontale, anche con più giranti per raggiungere alti valori di prevalenza. Sono usate per alimentare le caldaie degli impianti di generazione dell'energia elettrica. (Rossi 2013, p.724)

La posizione nell'impianto in cui viene installata la pompa è importante per il suo corretto funzionamento. I circolatori usano tenute meccaniche per evitare che il fluido fuoriesca. (Brumbaugh 2004, p.173,174)

2.10 Il camino

Per camino si intende un condotto che convoglia all'esterno i prodotti della combustione dei generatori di calore e, nelle caldaie in depressione, richiama l'aria comburente nel focolare. Il tiraggio è la differenza di pressione fra la base e la sommità del camino:

$$\Delta p = g * (\rho_a - \rho_g) * H \quad [Pa]$$

Dove ρ_a e ρ_g sono le masse volumiche dell'aria e dei fumi, g è accelerazione di gravità ed H è l'altezza del camino.

Il tiraggio aumenta all'aumentare dell'altezza del camino e della temperatura dei fumi allo sbocco. Questa depressione serve a compensare le perdite di carico che i fumi incontrano nel loro percorso. Ce ne sono nella caldaia, nei condotti fumari, in eventuali serrande e nel camino. Queste perdite di carico vanno minimizzate.

Nelle caldaie pressurizzate, la spinta del ventilatore del bruciatore compensa tutte le perdite di carico in caldaia. In questo caso il tiraggio del camino serve per vincere solo le perdite del circuito dei fumi a valle del generatore di calore.

La sezione di un camino è calcolabile con criteri stabiliti per legge.

L'efficacia del tiraggio del camino dovrà essere verificata al collaudo dell'impianto per le diverse condizioni di funzionamento del focolare, dall'avviamento fino alla massima potenzialità. I cambiamenti di sezione e i cambiamenti di forma dei camini devono essere raccordati fra loro con tronchi intermedi. Le proporzioni e inclinazioni dei raccordi e dei tratti rettilinei sono sottoposti a precise indicazioni costruttive per agevolare il passaggio dei fumi riducendo le perdite di carico.

I camini devono essere costituiti con strutture e materiali impermeabili ai gas e resistenti ai fumi e al calore. Sulle pareti dei canali da fumo devono essere predisposte aperture richiudibili per facilitare le ispezioni e la pulizia. (Rossi 2013, p.960-965)

2.11 Vita utile di una caldaia

Le attuali caldaie a gas per riscaldamento e produzione di ACS hanno una durata media di circa 15 anni. Si considera l'età dell'apparecchio a partire dalla data di produzione e non dalla data di installazione.

La durata è determinata in primo luogo dalla qualità dell'apparecchio e dei materiali che lo compongono. Dipende anche da scelte di progettazione e costruzione. L'ambiente di installazione può ridurre la durata di vita della caldaia, in particolare se è molto sporco o corrosivo. La macchina si romperà prima se sottoposta ad un uso più intensivo e se la manutenzione ordinaria non viene eseguita con una periodicità adeguata.

Sebbene alcune caldaie, tipicamente quelle di qualità maggiore, possano superare anche i 20 anni di vita, spesso al raggiungimento del quindicesimo anno di funzionamento si prende in considerazione la sostituzione della caldaia. Lo si fa per prevenire improvvisi guasti che renderebbero completamente inutilizzabile la macchina.

[W.7]

Il ciclo di vita della caldaia include le fasi di costruzione, utilizzo e smaltimento. Vanno tutte ottimizzate per risparmiare energia. L'impatto ambientale è maggiore nella fase di utilizzo, perché dura molti anni e prevede il consumo di grandi quantità di gas naturale ed elettricità. La fase di costruzione è un processo industriale dove viene impiegata energia (termica ed elettrica) proveniente in larga parte da fonti fossili. Per ridurre il consumo di risorse in questa fase, i costruttori della caldaia correggono il loro processo produttivo ottimizzando l'uso di energia nelle fabbriche senza sacrificare la qualità del prodotto, altrimenti verrebbe compromessa l'efficienza della caldaia e aumenterebbe il consumo nella fase di esercizio.

3 Caldaie Tradizionali e a condensazione

Le caldaie di bassa potenza per il riscaldamento di ambienti installate negli edifici possono essere caldaie tradizionali, caldaie a bassa temperatura o caldaie a condensazione.

3.1 Funzionamento delle caldaie tradizionali e a bassa temperatura

Negli impianti di riscaldamento è prassi comune far funzionare le caldaie sempre a elevata temperatura, mentre la temperatura dell'acqua inviata ai corpi scaldanti viene ridotta man mano che il carico termico si riduce. Lo si fa per evitare che le basse temperature dell'acqua riducano le temperature superficiali delle parti metalliche della caldaia a contatto con i prodotti della combustione. Questo provocherebbe condense acide e corrosione. La conseguenza è un'elevata temperatura dei fumi e notevoli perdite al camino.

Per migliorare il rendimento si abbassa molto la temperatura dei fumi, riducendo la temperatura dell'acqua. Le caldaie a bassa temperatura sono realizzate in modo che, in funzione del fabbisogno, la temperatura dell'acqua possa gradualmente ridursi da 75 °C fino a circa 40 °C senza rischio di corrosione. La camera di combustione non è a contatto diretto con l'acqua, per cui la temperatura dell'acqua può ridursi. Tuttavia la temperatura finale dei fumi, pur essendo più bassa che nelle altre caldaie, è ancora abbastanza. Si possono così evitare condensazioni e possibili corrosioni.

Il rendimento aumenta fino al 92% del PCI e si mantiene elevato anche ai bassi carichi, a differenza delle caldaie tradizionali. (Rossi 2013, p.911)

Il più grande svantaggio di queste tipologie di caldaie non a condensazione è che i fumi escono a temperatura maggiore di 100°C, ma i termosifoni degli impianti a cui sono accoppiate funzionano a circa 60°C. La conseguenza è una considerevole perdita di calore al camino.

3.2 Funzionamento delle caldaie a condensazione

Una caldaia a condensazione permette di ottenere un rendimento maggiore rispetto a una caldaia tradizionale, perché è progettata per recuperare il calore latente di condensazione del vapore acqueo dai fumi di scarico, ovvero la differenza tra il PCS e il PCI, che per il metano costituisce circa l'11% dell'energia immessa con il combustibile. Tale vapore si disperderebbe in atmosfera a temperature che vanno dai 150°C delle caldaie ad alto rendimento ai 200-250°C delle caldaie tradizionali.

Nella caldaia a condensazione i fumi cedono il loro calore all'acqua di ritorno, raffreddandosi al di sotto della temperatura di rugiada fino a tornare allo stato liquido e scendendo fino a 40°C. La temperatura di rilascio dei fumi è quindi minore sia rispetto alle caldaie di tipo tradizionale sia a quelle ad alto rendimento. [W.8]

Nel raffreddamento dei fumi si recupera non solo il calore latente ma anche il calore sensibile per riduzione delle perdite al camino e delle perdite attraverso il mantello. Dal punto di vista idraulico è necessario accertarsi che la temperatura del ritorno sia inferiore alla temperatura di condensazione dei fumi di combustione, affinché questi raggiungano la condensazione.

Non si dovrebbero impiegare valvole termostatiche a tre vie, poiché comportano un collegamento diretto della mandata con il ritorno e un conseguente aumento della temperatura del ritorno. (Rossi 2013, p.911)

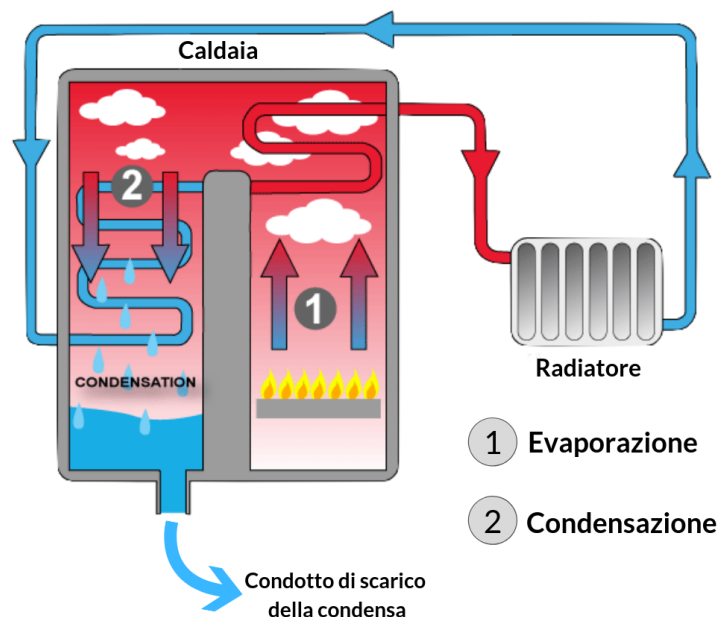


Figura 3 Funzionamento della caldaia a condensazione (Fonte: www.portaleenergia.com)

Oggi i rendimenti delle caldaie a condensazione disponibili vanno dal 105% al 109% del PCI, mentre quelli dei generatori tradizionali arrivano al 93%.

Una caldaia a condensazione ha un costo maggiore di una caldaia tradizionale, perché deve resistere alla corrosione e avere una superficie di scambio termico liscia, senza alette e disposta in modo tale che la condensa possa defluire al neutralizzatore o alle acque reflue di scarico. Da settembre 2015 per le nuove installazioni è obbligatoria la caldaia a condensazione. [W.8]

3.3 Vantaggi della caldaia a condensazione

Consistono soprattutto nei costi ridotti di gestione, nell'affidabilità e nelle basse emissioni inquinanti.

Con un'adeguata manutenzione dell'impianto e con un buon isolamento termico dell'edificio i risparmi che si ottengono con una caldaia a condensazione vanno dal 15% per la fornitura di acqua calda a 80°C fino al 30% per la fornitura di acqua calda a 60°C. Il vantaggio massimo si ha quando la caldaia a condensazione è utilizzata in impianti che funzionano a bassa temperatura (dai 30 ai 50°C), come gli impianti a pavimento.

Nelle caldaie a condensazione si usa un bruciatore a premiscelazione che permette di ridurre al minimo i consumi di gas e l'emissione di sostanze inquinanti come il monossido di carbonio e gli ossidi di azoto.

La miscela aria-gas è realizzata completamente all'interno del ventilatore controllato elettronicamente, che la soffia direttamente sul bruciatore. Questo garantisce un rendimento costante in tutto il campo di funzionamento dell'apparecchio, assicurando risparmi energetici impossibili da ottenere con bruciatori atmosferici di tipo tradizionale, la cui efficienza dipende dal tiraggio del camino.

Al fine di velocizzare la sostituzione degli impianti vecchi, la legge prevede deroghe rispetto all'obbligo di collegamenti a camini sopra il tetto per chi installa una caldaia a condensazione.

I modelli di ultima generazione possono essere combinati con un impianto solare termico per la produzione di sola acqua calda sanitaria. La combinazione caldaia a

condensazione-solare termico permette di ridurre il fabbisogno energetico complessivo anche più del 50% rispetto alle utenze di una casa già isolata termicamente.

Dopo una verifica da parte dell'Autorità dell'Energia Elettrica e del Gas dell'effettivo risparmio energetico ottenuto, le caldaie a condensazione permettono di ottenere i certificati bianchi, dei titoli di efficienza energetica dotati di un valore economico e scambiabili sul mercato.

Installando una caldaia a condensazione si può accedere al bonus fiscale per la riqualificazione energetica degli edifici introdotto nella Legge Finanziaria del 2007. [W.9] Le caldaie a condensazione hanno la Certificazione ErP, obbligatoria dal 26 settembre 2015 per i sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Le caldaie convenzionali non sono certificate e non si possono più vendere.

3.4 Svantaggi della caldaia a condensazione

Un problema tecnico della tecnologia a condensazione è la necessità di grandi ed efficienti superfici di scambio, che obbliga ad usare scambiatori in acciaio inox con ampie superfici di scambio.

Dato che i fumi escono a bassa temperatura, l'effetto di tiraggio del camino è molto debole ed è necessario adottare il funzionamento della caldaia pressurizzata, con un ventilatore per l'approvvigionamento dell'aria e l'espulsione dei fumi.

La condensa è acida e corrosiva.

Ci sono poi problemi legati a considerazioni economiche e d'installazione. Gli edifici più datati hanno tipicamente un isolamento termico poco performante e non sono dotati di terminali a bassa temperatura, ma di termosifoni. In queste condizioni le caldaie a condensazione non operano in modo ottimale.

Le caldaie a condensazione consentono di ridurre, ma non di azzerare le emissioni inquinanti: l'utilizzo del gas naturale di fonte fossile per il riscaldamento degli edifici va visto come una scelta di transizione, non come una soluzione a lungo termine.

Per conservare nel tempo i loro benefici ecologici (rispetto, ad esempio, alle caldaie tradizionali a gasolio) è necessaria una manutenzione regolare. [W.9]

4 Parametri di prestazione

4.1 Potenza Termica [kW]

La potenza termica al focolare è la potenza lorda entrante nella macchina, data dal prodotto del PCI del combustibile per la sua portata. Dalle norme si ricavano i valori convenzionali per il PCI di diversi combustibili. Per il gas naturale vale circa $34,5 \text{ MJ}/\text{m}^3$. La potenza termica convenzionale è data da quella al focolare diminuita della potenza termica persa al camino.

La potenza termica utile è data dalla quantità di calore trasferita nell'unità di tempo al fluido termovettore, corrispondente alla potenza convenzionale meno quella scambiata dall'involucro del generatore con l'ambiente esterno. È la potenza netta fornita dalla macchina all'utenza. (Rossi 2013, p.906)

4.2 Potenza nominale [kW]

È la taglia della macchina, si misura in chilowatt. Caldaie con potenza termica nominale maggiore di 35 kW sono sottoposte a particolari restrizioni. La manutenzione ordinaria dev'essere effettuata una volta all'anno e deve obbligatoriamente esserci un progetto dell'impianto, mentre per taglie minori di 35 kW non è obbligatorio. Vigè inoltre l'obbligo della denuncia all'INAIL, ovvero di verificare che l'impianto rispetti i requisiti di sicurezza previsti per legge.

La caldaia viene dimensionata con una potenza tale da soddisfare il bisogno di calore nella condizione più svantaggiata. Per un edificio costruito in veneto si può assumere che la condizione peggiore sia d'inverno, con una temperatura esterna di -5°C.

Per la maggior parte dell'anno la caldaia funzionerà a potenza ridotta perché dovrà coprire un carico termico minore di quello nominale. È importante che la caldaia mantenga un buon rendimento non solo nel funzionamento a potenza nominale, ma anche ai carichi parziali. Per le installazioni di potenza elevata, tipicamente negli esercizi commerciali come alberghi, discoteche o centri sportivi, la potenza della centrale termica viene suddivisa in più generatori. In questo caso, nel funzionamento a carico parziale si possono spegnere una o più caldaie e far funzionare le altre a pieno carico. La centrale così suddivisa è più affidabile perché se una macchina si guasta è possibile fermarla e lavorare a potenza ridotta con le caldaie rimanenti. (Rossi 2013, p.915)

4.3 Rendimento termico utile [%]

Il rendimento della caldaia η_K indica il rapporto tra potenza termica utile (in uscita) rispetto alla potenza termica al focolare (in entrata) in base al carico termico e alla temperatura del circuito di riscaldamento. Dipende fortemente dal rendimento di combustione, ma considera anche le dinamiche energetiche che avvengono al di fuori della camera di combustione. Nel diagramma della Figura 4 è rappresentato il rendimento delle caldaie a condensazione in funzione del carico termico relativo per il combustibile gas naturale. Nelle caldaie a condensazione con gasolio a basso contenuto di zolfo il rendimento è fino al 5% inferiore. (Buderus 2014, p.26)

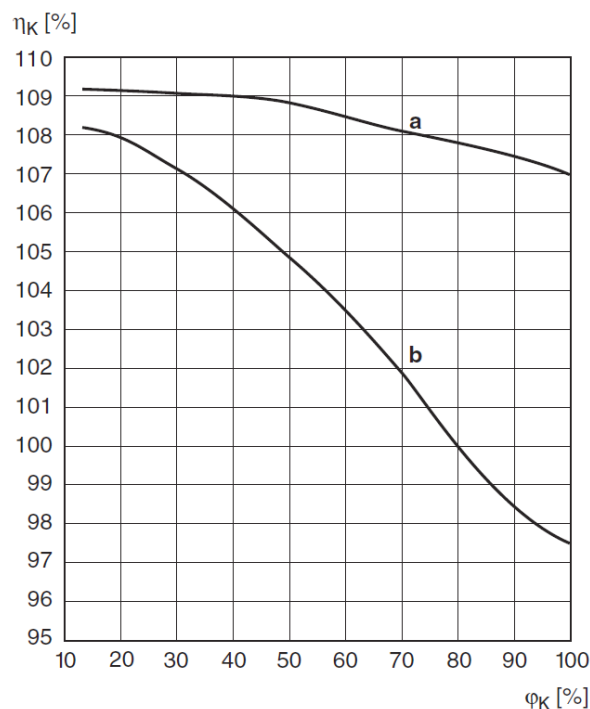


Figura 4 Rendimento della caldaia a gas in base al carico termico relativo ϕ_k per due diversi impianti con temperatura di sistema a 50/30°C (a) e 80/60°C (b)

In caldaia si usa una quantità d'aria maggiore rispetto alla combustione teorica per prevenire la formazione di incombusti e abbassare la temperatura di fiamma, riducendo la produzione di NOx.

Si deve diminuire il più possibile l'eccesso d'aria, poiché non contribuisce alla combustione e ne consuma il calore. Minimizzare l'eccesso d'aria permette anche di scegliere un ventilatore di alimentazione di taglia minore. Non è possibile scendere sotto una certa soglia perché altrimenti il bruciatore non è più in grado di miscelare perfettamente il gas naturale e l'aria. Le prestazioni del bruciatore peggiorano negli anni. Per compensare questo effetto serve un eccesso d'aria abbastanza alto. (Grimm & Rosaler 1998, p.134-136)

Si possono ottenere rendimenti globali elevati limitando la temperatura di ritorno attorno ai 50 °C, realizzando un salto termico tra mandata e ritorno di almeno 20°C ed evitando le installazioni per l'innalzamento della temperatura di ritorno, come le valvole miscelatrici. (Buderus 2014, p.36)

Diversamente dal rendimento misurato in condizioni stazionarie, il rendimento effettivo medio stagionale tiene conto delle reali condizioni di funzionamento. Infatti i ripetuti fermi e avviamenti del bruciatore, i periodi di ventilazione della camera di combustione (che causano perdite di calore al camino) e i funzionamenti a carichi ridotti fanno sì che il rendimento si abbassi significativamente.

Gli sforzi dei produttori tendono a contenere le perdite al minimo, abbassando la temperatura dei fumi e le dispersioni per irraggiamento e convezione dalla superficie esterna del generatore, riducendo la temperatura del fluido, migliorando le caratteristiche di coibentazione del mantello e riducendo le superfici disperdenti. (Rossi 2013, p.919)

4.3.1 Supply air humidification per migliorare il rendimento

Le caldaie a gas a condensazione per uso domestico, pur avendo rendimento maggiore delle caldaie tradizionali, disperdono una significativa quantità di calore.

L'umidificazione dell'aria comburente migliora l'efficienza di recupero termico e il rendimento complessivo della caldaia, ma i suoi effetti sulle prestazioni della combustione e sulle emissioni inquinanti rimangono ancora incerti.

Uno studio sugli effetti dell'umidificazione dell'aria comburente riporta che questa tecnica può migliorare il rendimento globale della caldaia fino al 3.8% usando un eccesso d'aria del 10%. Il miglioramento più notevole si ha nel processo di condensazione, dato che la quantità d'acqua condensata aumenta del 23%. Diminuisce anche la produzione di NOx, ma il processo di umidificazione va tenuto sotto controllo per evitare di aumentare eccessivamente le emissioni di monossido di carbonio. [W.10]

4.4 Resistenza idraulica di flusso

La resistenza idraulica di flusso è una perdita di pressione, misurata in millibar. È la differenza di pressione tra gli attacchi di mandata e di ritorno della caldaia a condensazione. Dipende dalla grandezza della caldaia e cresce al crescere della portata dell'acqua di riscaldamento. Influisce sul dimensionamento della pompa di circolazione e sul corretto funzionamento degli organi di regolazione dell'impianto. È particolarmente importante nel dimensionamento di impianti idronici di riscaldamento di taglie maggiori per i grandi edifici ad uso commerciale o industriale. (Buderus 2014, p.26)

CAPITOLO 2 - Impianti di riscaldamento

1 Componenti dell'impianto

La caldaia è inserita in un impianto di riscaldamento o di distribuzione di acqua calda sanitaria. Segue una descrizione dei principali componenti degli impianti di piccola e media taglia.

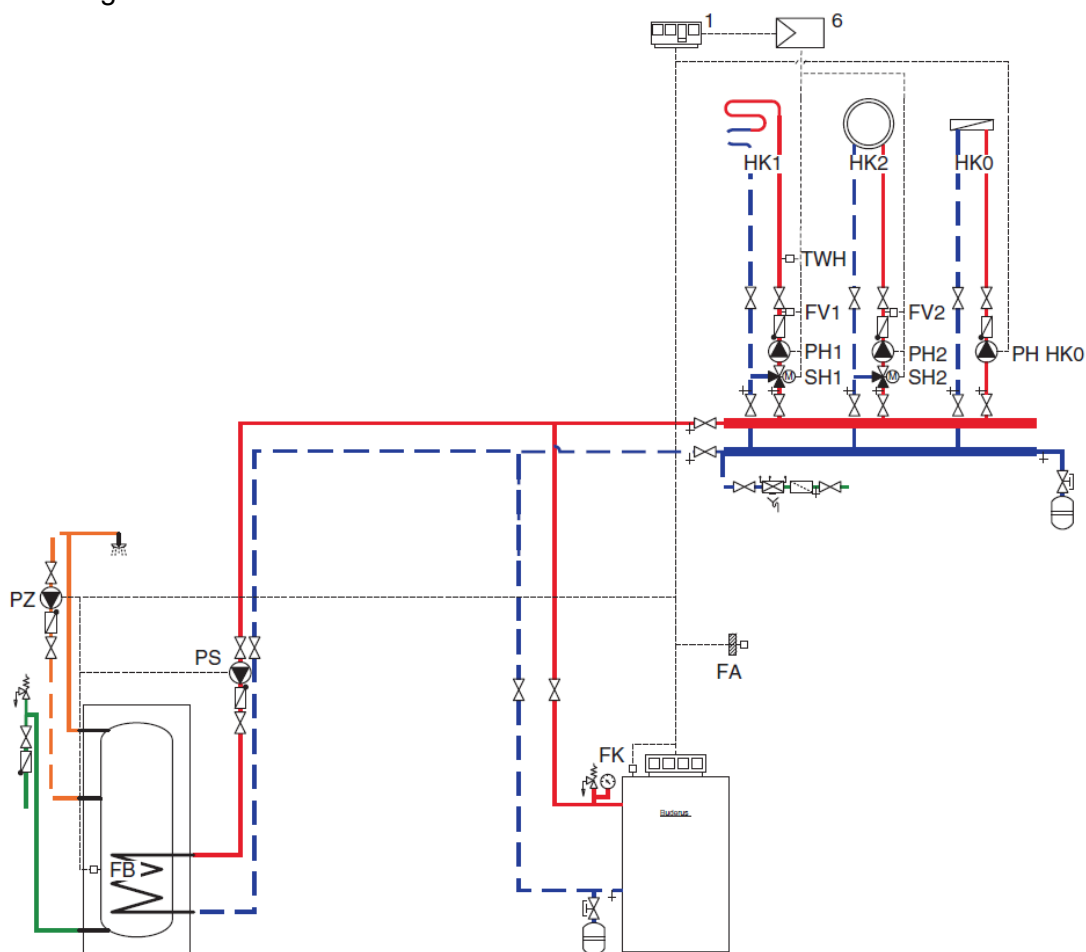


Figura 5 Impianto con singola caldaia a condensazione: circuiti di riscaldamento e accumulatore-produttore di acqua calda sanitaria con ritorno a bassa temperatura (Fonte: Buderus)

1.1 Trattamento acqua

Una cattiva qualità dell'acqua può portare alla formazione di calcare e alla corrosione. Di conseguenza è necessario prestare particolare attenzione al suo trattamento e al monitoraggio dell'acqua corrente. Il trattamento dell'acqua è un fattore importante per assicurare il funzionamento senza guasti, l'affidabilità, la durata, la redditività dell'impianto di riscaldamento e il rispetto delle condizioni di garanzia dei vari componenti, soprattutto della caldaia. Queste considerazioni valgono per tutti gli impianti, ma in particolare per quelli di taglia maggiore.

La formazione di calcare indica la costituzione di uno strato estremamente resistente sulle pareti toccate dall'acqua degli impianti di riscaldamento e di produzione ACS. Questi strati sono composti da sostanze contenenti carbonato di calcio.

La temperatura di esercizio è la temperatura presente sul manicotto di mandata del generatore di calore durante un esercizio dell'impianto senza guasti. Se sale, aumenta la quantità di calcare precipitato, aggravando gli effetti delle ostruzioni nelle tubazioni. (Buderus 2014, p.39)

Si previene il depositarsi del calcare aumentando la turbolenza del flusso d'acqua, mantenendo l'acqua al di sotto dei 55°C o installando un addolcitore per l'acqua in ingresso.

Il trattamento chimico-fisico dell'acqua comprende addolcimento e demineralizzazione. Il trattamento puramente chimico prevede l'aggiunta di prodotti specifici in grado di pulire l'impianto (prodotti per rimuovere fanghi e depositi), proteggere l'impianto (inibitori di corrosione e incrostazione, biocidi e antigelo) e mantenere l'efficienza dell'impianto.

La demineralizzazione è un trattamento che elimina la maggior parte dei sali contenuti in forma ionica nell'acqua, diminuendo la conducibilità elettrica. Si utilizzano dei letti di resine miste a scambio ionico. (Caleffi 2018, p.36)

1.2 Addolcitore

La qualità dell'acqua circolante nell'impianto è importante perché può causare corrosione, alterarne il sapore e portare alla formazione di fanghi e batteri.

La durezza dell'acqua indica il contenuto di sali responsabili della formazione del calcare, soprattutto alcalini quali calcio e magnesio.

Tanto più elevata è la loro concentrazione, maggiore è la durezza dell'acqua.

In Italia, la durezza varia con la posizione geografica dell'edificio. È mediamente attorno ai 20 gradi francesi, ma in determinate zone può superare i 35 °f.

L'eccessiva durezza dell'acqua può provocare la formazione di depositi di calcare nei rubinetti, degradare la qualità di elettrodomestici come lavatrici o lavastoviglie, alterare il gusto dell'acqua di rubinetto e aumentare i costi di riscaldamento e detersivi. [W.11]

Per evitare questi problemi si riduce la durezza dell'acqua usando un addolcitore che processa l'acqua tecnica e sanitaria entrante nell'impianto.

La relazione tra durezza dell'acqua, tracce di sali disciolti ed effetti a lungo termine sulla salute, specialmente in relazione alle malattie di tipo cardiovascolare, non è ancora completamente compresa. Si ipotizza che la qualità dell'acqua potabile influisca sulla salute di chi la consuma, con effetti diversi in diverse zone geografiche. L'incidenza di malattie cardiovascolari nella popolazione è minore dove l'acqua potabile è più dura. Addolcire l'acqua prima di immetterla nella rete di distribuzione corroderebbe i tubi degli acquedotti, quindi l'addolcitore viene installato nelle abitazioni, in prossimità del punto di prelievo dell'acqua dall'acquedotto. [W.12]

Un addolcimento eccessivo, a meno di 5°f, può danneggiare alcuni componenti dell'impianto. È preferibile quindi mantenere un valore di durezza residua tra 5 e 15°f. (Caleffi 2018, p.36)

Per i motivi sopra citati, si evita un addolcimento eccessivo dell'acqua.

Nel funzionamento normale dell'addolcitore, l'acqua dura passa attraverso un serbatoio in pressione contenente una speciale resina cationica forte a scambio ionico adatta al trattamento di acqua potabile. Avendo maggiore affinità per il calcio e per il magnesio, la resina assorbe questi ioni poco solubili e li sostituisce con gli ioni di sodio, più solubili. Dopo il trattamento, l'acqua avrà un contenuto di sodio maggiore di quello in entrata, proporzionale alla quantità di calcio e magnesio scambiata.

Questa reazione è reversibile. Quando la capacità di scambio ionico della resina è esaurita può essere rigenerata facendo scorrere attraverso lo strato di resina una soluzione concentrata di cloruro di sodio, per invertire la reazione e riattivare il ciclo di produzione dall'inizio. (Depur Sistem Italia 2015, pag.6)

I bicarbonati di sodio che vengono rilasciati nell'acqua non hanno capacità incrostante, nemmeno alle alte temperature di lavoro dell'impianto di riscaldamento. (Caleffi 2018, p.36)

L'installazione di un addolcitore è un intervento utile e non invasivo per migliorare l'acqua che entra nell'abitazione e proteggere l'impianto di riscaldamento. L'addolcitore deve essere installato a monte della caldaia, in un locale di temperatura e dimensioni adeguate. L'installazione di un addolcitore d'acqua garantisce un funzionamento più efficiente e duraturo della caldaia, perché viene alimentata con acqua migliore. Può anche prolungare la vita di elettrodomestici come lavatrici e lavastoviglie, prevenendo i danni causati dalla formazione di calcare.

L'addolcimento riduce il consumo di prodotti detergenti per la pulizia di bagno e cucina. [W.11]

1.3 Dispositivi di ritenzione delle impurità

I depositi di residui che si formano nell'impianto possono provocare surriscaldamento, rumore e corrosione nel punto di accumulo. Per rimuovere sporco e fango è necessario lavare accuratamente l'impianto di riscaldamento prima di collegarvi la caldaia.

Si può anche installare un dispositivo di ritenzione delle impurità o un filtro per i fanghi. I dispositivi di ritenzione delle impurità trattengono le particelle di sporco, evitando in questo modo le anomalie di funzionamento degli organi di regolazione, delle tubature e della caldaia. Devono essere installati nei punti più bassi dell'impianto di riscaldamento e devono essere facilmente accessibili. Ogni volta che viene effettuata la manutenzione dell'impianto di riscaldamento i dispositivi di ritenzione delle impurità devono essere ripuliti. (Buderus 2014, p.47)

Per quanto riguarda l'eliminazione delle impurità presenti nell'acqua (sabbia, ruggine, magnetite) si utilizzano filtri tradizionali e defangatori.

I filtri tradizionali sono in grado di intercettare le particelle di sporco solo superiori alla dimensione della loro maglia filtrante, già al primo passaggio. Tuttavia sono soggetti a frequenti ostruzioni.

I defangatori hanno la capacità di trattenere anche le particelle con dimensioni molto piccole, quali la magnetite. Non sono soggetti a intasamenti e non richiedono frequenti manutenzioni. Tuttavia per poter eliminare le impurità sono necessari più passaggi attraverso il dispositivo.

Le impurità presenti nell'impianto possono essere:

- contenute nell'acqua di riempimento: sono particelle organiche come batteri e alghe, o non organiche come sabbie, sali e ioni solubili;
- residui derivanti dalle operazioni di installazione o manutenzione dell'impianto;
- generate durante l'esercizio all'interno dell'impianto, come prodotti di ossidazioni e corrosioni.

Le maggiori problematiche degli impianti sono causate dalle sostanze che si generano al loro interno: queste sono le più pericolose e possono comprometterne seriamente l'efficienza. (Caleffi 2018, p.4)

La presenza di impurità nell'acqua è causa di funzionamento irregolare delle valvole, diminuzione della resa degli scambiatori di calore, blocchi e grippaggi delle pompe, riduzione della resa dei corpi scaldanti e rallentamento della circolazione d'acqua nell'impianto.

Le impurità possono essere rimosse dall'acqua dell'impianto per mezzo di trattamenti di filtrazione o defangazione, generalmente praticati sulla linea di ritorno a protezione della caldaia. La filtrazione è un trattamento fisico nel quale le particelle di sporco si separano dall'acqua poiché trattenute da una maglia filtrante porosa. Il defangatore sfrutta il diverso peso specifico delle particelle di impurità per separarle dall'acqua. La raccolta delle impurità può avvenire sfruttando la forza centrifuga, l'attrazione magnetica o la forza di gravità. (Caleffi 2018, p.12-20)

1.4 Termostato

La regolazione delle temperature di esercizio dovrebbe dipendere dalla temperatura esterna. È possibile regolare singoli circuiti di riscaldamento in funzione della temperatura di una stanza, con una sonda di temperatura ambiente in un locale di riferimento. A questo scopo le valvole di miscelazione, il bruciatore e le pompe di circolazione sono controllati dal regolatore, che fa riferimento alla misura del termostato. (Buderus 2014, p.47)

La quantità di calore inviata dall'impianto all'ambiente deve coincidere con il carico termico, che varia per le oscillazioni di irraggiamento solare, temperatura esterna e carichi interni. Il termostato di una stanza controlla l'impianto in modo da mantenere le condizioni dell'ambiente entro valori definiti. Se la temperatura della stanza aumenta eccessivamente, l'afflusso di acqua calda ai terminali dell'impianto viene ridotto tramite miscelazione con acqua fredda o diminuendo la potenza di lavoro della caldaia.

Tipicamente l'impianto serve più stanze con carichi termici diversi. Si pratica una regolazione a zone con più termostati per garantire il comfort in ognuno degli ambienti, che potrebbero avere carichi termici molto diversi tra loro. (Pita 2002, p. 307)

La regolazione è del tipo on-off. Si evitano la regolazione proporzionale e derivativa per via della grande inerzia termica degli edifici da riscaldare, che non giustifica il costo di sistemi così sofisticati.

Il termostato deve rilevare la temperatura ambiente e inviare l'informazione alla caldaia. Considerazioni analoghe si possono fare per l'umidità. È possibile misurarla con un sensore e prendere decisioni sul dato rilevato, per garantire un comfort migliore. Nella maggior parte degli impianti domestici di riscaldamento questa funzione non è richiesta. Viene praticata negli impianti di taglia maggiore per edifici grandi e più frequentati, o con un carico termico latente importante.

In un semplice impianto di riscaldamento il termostato controlla la caldaia lavorando sull'apertura della valvola del gas. Negli impianti più grandi il sistema di regolazione è più sofisticato e offre un controllo a zone più granulare, che permette di risparmiare energia. Oltre ai termostati con cui si imposta la temperatura dell'acqua desiderata, esiste anche il termostato di sicurezza, che spegne il generatore di calore se l'acqua nell'impianto supera una temperatura di soglia critica. (Pita 2002, p. 373-378)

Il termostato può anche controllare la portata di acqua calda ai terminali della rete di riscaldamento servendosi di valvole automatiche a tre vie per modificare la potenza termica erogata all'ambiente. (Pita 2002, p. 379)

1.5 Valvola di intercettazione combustibile

La valvola di intercettazione del combustibile è un dispositivo di sicurezza ad azione positiva. La valvola, installata sulla tubazione di alimentazione del bruciatore, ha lo scopo di intercettare il flusso di combustibile quando la temperatura del fluido termovettore raggiunge il valore di taratura.

La sicurezza positiva è data dal fatto che la valvola di intercettazione del combustibile dev'essere armata manualmente per poter funzionare e permettere il passaggio del gas combustibile. Una volta superati i parametri di sicurezza, il cambiamento di stato di un fluido ne comanda lo sgancio e la chiusura. Questo succede anche nel caso di rottura del capillare che collega la valvola all'ampolla di misurazione della temperatura.

Il riarmo della valvola intercettazione combustibile, una volta intervenuta, non può essere effettuato finché l'impianto non sia rientrato nei parametri di funzionamento regolare.

Dalla rete di distribuzione del gas, l'alimentazione a un impianto di riscaldamento deve essere eseguita installando un organo di intercettazione, quindi il contatore (all'esterno dell'edificio) e un altro rubinetto di intercettazione. (Rossi 2013, p.960)

Le valvole che controllano il flusso di gas naturale alla caldaia possono essere divise in valvole a comando manuale e a comando automatico. Le valvole manuali sono una riserva e vengono usate in caso di fallimento delle valvole automatiche. Devono bloccare l'alimentazione del combustibile alla caldaia. Le valvole automatiche sono azionate da un servomotore o da un sistema pneumatico. (Brumbaugh 2008, p. 153)

1.6 Vaso di espansione

Il vaso d'espansione è un componente richiesto in tutti gli impianti chiusi di riscaldamento ad acqua. L'acqua si espande quando viene riscaldata. Il vaso d'espansione fornisce lo spazio per accogliere questo incremento di volume, evitando sollecitazioni sugli altri componenti dell'impianto. (Brumbaugh 2004, p.26)

Il vaso di espansione contiene un gas, ad esempio aria, che si comporta come un cuscino che assorbe l'incremento di volume dell'acqua dell'impianto quando viene scaldata. (Grimm & Rosaler 1998, p.152)

Gli impianti di riscaldamento ad acqua calda lavorano ad una pressione maggiore di quella atmosferica per evitare infiltrazioni d'aria. Mantenendo la pressione del sistema al di sopra di quella di evaporazione si minimizzano i fenomeni di ebollizione o flashing dell'acqua e i rischi ad essi associati.

Il vaso d'espansione mantiene costante la pressione nell'impianto. Il vaso chiuso è più comune di quello aperto, specialmente negli impianti più grandi. È tipicamente posizionato nel locale caldaia. In alcuni modelli, il vaso d'espansione viene già installato dentro la caldaia. La dimensione del vaso d'espansione dipende dall'altezza del punto dell'impianto in cui è installato e dalla posizione della pompa di circolazione relativamente al vaso stesso. (Grimm & Rosaler 1998, p.191,192)

Negli impianti di riscaldamento ad acqua si usano vasi di espansione aperti o chiusi. Il vaso d'espansione aperto è usato in sistemi a bassa pressione e il vaso d'espansione chiuso è usato in sistemi ad alta pressione. Quando l'acqua si scalda ed espande, il volume in eccesso fluisce nel vaso d'espansione e comprime il cuscino di gas al suo interno. (Brumbaugh 2004, p.171-173)

Il vaso di espansione mantiene la pressione di lavoro dell'impianto tra il valore massimo e il valore minimo tollerabili. A questo scopo vengono installate anche la valvola di sicurezza e il rubinetto di ricarica dell'acqua. (Brumbaugh 2008, p. 540)

1.6.1 Impianti a vaso aperto e chiuso: propensione alla corrosione

Generalmente la corrosione negli impianti di riscaldamento a vaso chiuso, ovvero senza l'accesso continuo di ossigeno, gioca un ruolo secondario.

In un impianto a vaso aperto vi è un continuo ingresso di ossigeno nell'acqua dell'impianto per via del contatto con l'aria, che porta alla formazione di ruggine, quindi a corrosione, e formazione di fango.

Una grande importanza per quanto riguarda l'ingresso di ossigeno è rappresentata dalla pressurizzazione, dal funzionamento e dalla giusta regolazione della pressione di precarica del vaso di espansione.

Nel caso non sia possibile evitare una continua immissione di ossigeno oppure non sia possibile realizzare un impianto con la tecnica anticorrosiva a sistema chiuso, sono necessarie misure di protezione contro la corrosione, come l'aggiunta di sostanze chimiche che formano uno strato di copertura sulla superficie del materiale, la separazione del sistema mediante uno scambiatore di calore o l'uso di acqua addolcita. (Buderus 2014, p.40,43)

2 Impianti con termosifoni

Gli impianti di riscaldamento ad acqua possono usare diversi terminali. Uno di questi è il termosifone, che trasmette il calore dall'acqua calda all'ambiente da scaldare.

Il riscaldamento con aria usa terminali diversi, il cui scopo è di immettere il fluido termovettore stesso nell'ambiente. Con questa tipologia d'impianto si hanno costi maggiori per far circolare l'aria nei condotti, più rumore e rischi legati alla diffusione di polvere e batteri attraverso l'impianto, se non vengono adottati opportuni filtri.

Tuttavia, l'impianto idronico ha costi d'installazione maggiori e una risposta termica più lenta. Di conseguenza, la tecnologia di riscaldamento viene scelta a seconda delle esigenze dell'edificio. (Brumbaugh 2002, p.182)

Gli impianti di riscaldamento domestico usano acqua per distribuire il calore negli spazi interni all'edificio. La forza motrice dell'acqua può essere la gravità o l'azione di una pompa. Si hanno quindi impianti a circolazione naturale o forzata. Negli edifici ad uso residenziale e commerciale si trovano tipicamente impianti a circolazione forzata.

L'acqua viene riscaldata nella caldaia e portata ai termosifoni delle stanze dell'edificio, che diffondono il calore all'ambiente tramite irraggiamento e convezione naturale con l'aria. (Brumbaugh 2002, p.149-155)

I termosifoni in ghisa sono costruiti in unità modulari di tipo tubolare. Nelle installazioni dove il pavimento deve rimanere sgombro i termosifoni vengono appesi al muro. Possono anche essere posizionati sotto le finestre. (Brumbaugh 2004, p.72-74)

L'efficienza di un termosifone dipende dalla temperatura dell'ambiente dov'è installato, dalla temperatura superficiale dell'unità e dall'estensione della sua superficie. (Brumbaugh 2004, p.78-79)

L'accumulo di depositi, polveri di ferro e magnetite nella parte bassa dei corpi scaldanti può aumentare gli squilibri termici e i costi di gestione. Un'eventuale ostruzione può chiudere alcuni passaggi all'interno dei radiatori ed impedire all'acqua calda di circolare. Di conseguenza si creano zone fredde che non contribuiscono più allo scambio termico. La presenza di aria può causare danni altrettanto gravi nella parte alta dei radiatori: da una parte diminuisce la resa del corpo scaldante, dall'altra causa l'innescio di corrosioni. (Caleffi 2018, p.13)

Negli edifici più grandi l'impianto è a zone, con un termostato che controlla la temperatura in ogni singola zona.

Gli impianti di riscaldamento si possono classificare in base al tipo di circolazione dell'acqua, alla modalità di posa dei tubi e alla temperatura dell'acqua calda fornita dalla caldaia. In base al tipo di posa dei tubi si distinguono in particolare il sistema monotubo e il sistema a due tubi. In alcuni impianti, più sistemi di posa dei tubi vengono combinati assieme. (Brumbaugh 2002, p.149-155)

2.1 Impianto monotubo

Nell'impianto monotubo si usa un solo tubo per trasportare l'acqua calda a tutti i radiatori dell'edificio e per riportare l'acqua fredda alla caldaia. Ogni radiatore è connesso al tubo principale attraverso una diramazione per l'allaccio di alimentazione e una per il ritorno. L'acqua calda parte dalla caldaia, raggiunge un radiatore alla volta e ritorna alla caldaia. L'impianto va dimensionato considerando la differenza di temperatura con l'esterno del locale il cui termosifone è più distante dalla caldaia. Nell'impianto monotubo uno o più termosifoni possono essere spenti senza interferire con la portata d'acqua e il funzionamento delle altre unità. (Brumbaugh 2002, p.149-155)

2.2 Impianto a due tubi

Nell'impianto a due tubi, l'acqua calda ritorna direttamente alla caldaia da ogni termosifone, ovvero i tubi di andata e ritorno sono ora separati. I termosifoni sono connessi ai tubi di mandata e ritorno tramite rami separati. Ogni unità è posta alla metà di un circuito completo a ritorno diretto in caldaia. Gli impianti di questo tipo possono essere facilmente suddivisi in zone, per offrire un controllo più granulare sulla temperatura. (Brumbaugh 2002, p.149-155)

3 Impianti a pannelli radianti

Nell'impianto a pannelli radianti non si usano termosifoni o ventilconvettori. L'acqua calda circola in condotti flessibili installati sotto il pavimento o sul soffitto, che agiscono come superfici di emissione del calore. (Brumbaugh 2002, p.149-155)

Il riscaldamento a pannelli radianti impiega ampie superfici per diffondere il calore per irraggiamento a temperature relativamente basse. L'impianto a pavimento è la tecnologia a pannelli radianti più installata. (Brumbaugh 2004, p.2-5)

Le basse temperature di lavoro fanno di questi terminali la soluzione ottimale per impianti di riscaldamento domestico a basso impatto ambientale, basati su pannelli solari o pompe di calore, che scaldano l'acqua a temperature minori delle caldaie a condensazione. Anche le caldaie a condensazione possono essere accoppiate ai pannelli radianti, e in questo caso lavorano con temperatura di ritorno più bassa (rispetto ad un impianto a termosifoni) e con migliore efficienza energetica. (Kreider 2001, p.381)

I tubi possono essere comprati in unità prefabbricate o assemblati in sito. Esistono diversi modi per posare i tubi. Generalmente si dispongono i tubi in modo da formare una spirale, allungando il tempo in cui il fluido scorre nei tubi sotto al pavimento. (Brumbaugh 2004, p.41)

3.1 Impianti a pavimento

Questi impianti sono composti dalla caldaia, dai condotti del pavimento, dalle valvole di regolazione, dal circolatore, dal vaso di espansione e dal termostato. Si usano prevalentemente caldaie a gas a condensazione. Le temperature di lavoro sono di 30-40°C, molto inferiori ai 60-70°C di un impianto a termosifoni. Di conseguenza, la caldaia a condensazione può lavorare con temperature di ritorno inferiori, quindi con miglior efficienza e longevità. (Brumbaugh 2004, p.6-7)

Gli impianti a pavimento sono più facili da installare rispetto agli impianti a soffitto. Questa tecnologia consente di risolvere il problema dei pavimenti freddi negli edifici.

Tuttavia, i mobili possono bloccare gran parte del flusso di calore. Questi impianti sono ideali per il piano terra delle abitazioni direttamente a contatto con il terreno. (Brumbaugh 2004, p.2-5)

Un impianto a pannelli radianti ha una linea di mandata e una di ritorno. La linea di mandata collega l'uscita della caldaia al collettore e porta l'acqua calda ai circuiti dei pannelli veri e propri. La linea di ritorno collega il collettore alla caldaia dal lato dell'acqua fredda, perché venga nuovamente riscaldata. Per i tubi dei pannelli radianti si usano rame o plastica. (Brumbaugh 2004, p.7-9)

Le valvole sono usate per diversi scopi nell'impianto a pavimento. Sono attuatori dei sistemi di sicurezza che impediscono all'acqua di riscaldarsi a una temperatura eccessiva, ma possono anche essere usate per regolare la portata. (Brumbaugh 2004, p.17)

3.2 Impianti a soffitto

Il vantaggio degli impianti a soffitto è che il flusso di calore non è ostacolato da mobili o tende, quindi l'intera superficie può essere usata efficacemente. L'impianto a soffitto non si usa in locali bassi perché potrebbe provocare una sensazione di disagio alla testa. Negli edifici a molti piani, come condomini o esercizi commerciali, è conveniente adottare questa tipologia costruttiva perché permette di scaldare anche il pavimento del piano superiore, che generalmente è un effetto desiderato. (Brumbaugh 2004, p.2-5)

4 Il libretto d'impianto della regione Veneto

4.1 Il libretto cartaceo

Con il D.P.R. 412 del 1993 vengono introdotti il libretto di centrale termica per i generatori di taglia superiore ai 35kW e il libretto d'impianto per i generatori di taglia inferiore ai 35kW. Nel libretto si annotano i controlli di efficienza energetica della caldaia, che vengono effettuati all'atto della prima accensione dell'impianto, in caso di sostituzione degli apparecchi del sistema di generazione e in caso di interventi che non rientrino tra quelli periodici, ma tali da poter influire sull'efficienza energetica.

Al termine dei controlli, l'operatore compila uno specifico Rapporto di controllo di efficienza energetica. Una copia del Rapporto è rilasciata al responsabile dell'impianto e una copia è trasmessa alla Regione competente.

Negli anni si sono diffusi impianti di riscaldamento sempre più complessi, con l'integrazione di caldaie e pannelli solari o sistemi di climatizzazione pensati per tutto l'anno. Il libretto d'impianto è stato adattato rendendolo modulare, con schede per i diversi componenti dell'impianto.

Ai fini della compilazione del libretto cartaceo, non sono considerati impianti termici apparecchi quali singole stufe e caminetti. Non è considerato impianto termico un sistema dedicato esclusivamente alla produzione di acqua calda sanitaria al servizio di singole unità immobiliari ad uso residenziale, ovvero uno scaldabagno. (Insiel, 2016)

I primi libretti d'impianto erano molto sintetici, si limitavano a riportare poche informazioni sull'indirizzo dell'impianto, il modello della caldaia, i risultati dell'analisi di combustione e la lista degli interventi di manutenzione effettuati. Il tutto occupava l'equivalente di due facciate di un foglio A4.

Nelle successive revisioni, il libretto è diventato più corposo, anche per i generatori di potenza inferiore ai 35 kW. Sono state introdotte le schede per dividere i vari aspetti dell'impianto. La versione del libretto conforme all'allegato F del D.P.R. n° 412 del 26 agosto 1993 ne prevede 10: la scheda identificativa dell'impianto, quella dedicata al responsabile dell'impianto, una per i componenti dell'impianto termico, una scheda relativa alla ventilazione del locale caldaia, una per i risultati delle analisi di combustione, un'altra per i risultati delle verifiche periodiche delle autorità competenti, una scheda per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria e l'ultima per la registrazione dei consumi di combustibile.

Assieme al libretto cartaceo vengono conservati anche i rapporti di controllo tecnico: dopo ogni intervento di analisi dei fumi di combustione viene compilata una scheda dove vengono riportati i risultati dell'analisi e le informazioni sul rispetto dei requisiti di sicurezza della caldaia e del suo locale.

4.2 Il libretto elettronico

La Regione Veneto con le Disposizioni attuative del D.P.R. 74/2013 ha implementato la normativa statale sugli impianti di climatizzazione in materia di esercizio, conduzione, manutenzione, controllo ed ispezione degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva degli edifici. Con la stessa deliberazione è stata approvata la nuova versione del Libretto di impianto in vigore dal 15 ottobre 2014 ed è stata anche prevista l'attivazione del sistema telematico per la sua registrazione. Con un decreto successivo è stato istituito il Catasto regionale CIRCE (Catasto Impianti e Rapporti di Controllo di Efficienza energetica), per la registrazione e gestione dei Libretti degli impianti e dei Rapporti di controllo di efficienza energetica, che possono essere compilati on line da un operatore certificato. CIRCE nasce per obbligo di legge e per monitorare le prestazioni energetiche degli impianti termici presenti sul territorio regionale. [W.13]

La Ditta incaricata dal Responsabile di impianto per l'installazione o per la manutenzione periodica del proprio impianto deve provvedere anche a registrare e aggiornare il Libretto di impianto in CIRCE. Il Libretto di impianto è compilato on-line, utilizzando il sistema CIRCE, dall'installatore, dal manutentore o dal Terzo responsabile. Il Libretto di impianto di cui al D.P.R. 74/2013 è obbligatorio per tutti gli impianti termici di climatizzazione invernale o estiva, indipendentemente dalla loro potenza termica, sia esistenti che di nuova installazione. [W.14]

Il catasto degli impianti termici contiene attualmente quasi 2 milioni di libretti, caricati da circa 8000 ditte certificate. [W.15]

CAPITOLO 3 - Impatto ambientale

1 Consumi

Le caldaie trattate in questo elaborato consumano gas naturale. Il combustibile fossile alternativo è il gasolio, ma è molto meno usato e in via di abbandono.

Il consumo di energia primaria a livello mondiale ha un andamento monotono crescente, con dei flessi nei periodi di crisi. Il consumo di energia pro capite in tonnellate equivalenti di petrolio è direttamente correlato al livello di benessere in un paese, misurabile con l'indice di sviluppo umano.

I paesi considerati sviluppati hanno un consumo di energia pro capite maggiore di 2 Tep/persona. Un uso elevato di energia finale per garantire un elevato livello di comfort non è necessariamente un problema se questa energia viene prodotta, trasmessa e consumata in modo efficiente e sostenibile. [W.16]

Secondo i dati del World Energy Council e di British Petroleum, le riserve mondiali accertate di gas naturale ammontano (con un ragionevole margine di errore) a 180 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio (GTep) mentre le risorse estraibili sono stimate a 1000 GTep. Considerando gli attuali consumi si ipotizza che il metano sarà sfruttabile per almeno altri 60 anni. Il gas naturale viene estratto principalmente in Russia, Medio Oriente e Asia.

1.1 La rete del metano in Italia

In Italia il gas naturale viene quasi esclusivamente importato tramite i collegamenti strategici con gli altri paesi. Questi sono gasdotti internazionali o rigassificatori costruiti in prossimità dei porti. Il gas viene stoccato in appositi giacimenti e poi trasmesso nella rete nazionale dei metanodotti. La distribuzione ai singoli utenti viene effettuata con concessione pubblica dagli enti distributori. Le società di vendita acquistano il gas naturale all'ingrosso e si occupano della vendita ai clienti in regime di mercato libero. Esiste anche il regime di mercato tutelato, destinato a concludersi a favore della libera concorrenza. Il prezzo finale nella bolletta del gas include voci per la materia prima, la sua commercializzazione, lo stoccaggio, il trasporto, la distribuzione, la misura, la vendita al dettaglio e le imposte.

In Italia per usi civili vengono consumati 22,2 MTep di energia finale sotto forma di combustibili fossili, prevalentemente come gas naturale e derivati del petrolio. Vengono consumati anche 11,2 MTep di energia finale sotto forma di calore rinnovabile, ovvero da bioenergie e pompe di calore. (QualEnergia 2019, p.63)

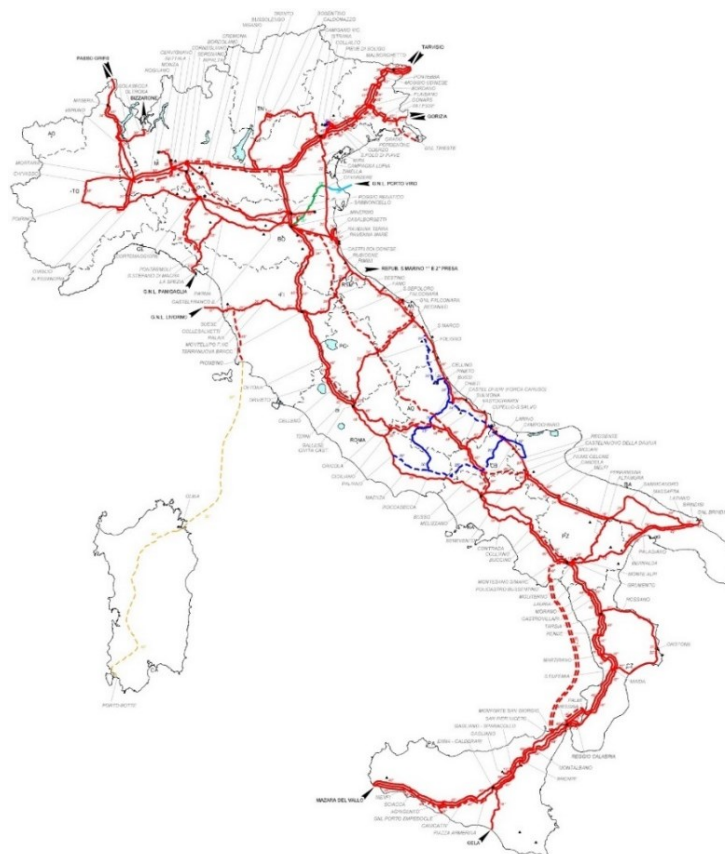


Figura 6 Rete nazionale dei gasdotti, situazione a Giugno 2013 (Fonte: SNAM)

Il gas naturale è un combustibile fossile imprescindibile per un mix energetico sostenibile. È una fonte energetica flessibile. Grazie alle sue caratteristiche può essere integrato con le fonti rinnovabili per ridurre le emissioni. Inoltre l'uso del gas naturale garantisce vantaggi legati alla disponibilità tramite infrastrutture di trasporto, distribuzione e stoccaggio già esistenti.

Lo sviluppo della filiera del biometano, che utilizza le reti gas esistenti e genera ricadute positive sul comparto agro-alimentare, promuove un modello economico fondato su sostenibilità e circolarità nell'utilizzo delle risorse. [W.17]

Secondo la relazione finanziaria annuale della società di infrastrutture energetiche SNAM, nel 2018 in Italia sono stati consumati 29,2 miliardi di metri cubi di gas naturale nei settori residenziale e terziario, con una riduzione del 1% rispetto al consumo del 2016.

Il metano viene distribuito lungo tutta la penisola grazie a una rete di gasdotti che copre capillarmente il Paese. Il trasporto via tubo garantisce un elevato grado di sicurezza. I metanodotti e le infrastrutture su cui sono stati fatti importanti investimenti non sono destinate a cadere in disuso dopo l'esaurimento dei giacimenti di metano fossile. Ci sono piani di sviluppo che studiano la possibilità di immettere nella rete anche una quota di gas combustibili alternativi, come l'idrogeno o il biometano.

Il biometano è una fonte di energia rinnovabile e sostenibile che si ottiene da biomasse agricole (colture dedicate, scarti agricoli e deiezioni animali), agroindustriali e dalla frazione organica dei rifiuti solido urbani. Essendo il risultato di un processo più sostenibile rispetto all'estrazione di fonti fossili, il biometano permette di rispondere agli obiettivi di riduzione delle emissioni sfruttando le reti gas esistenti. [W.18]

1.2 Consumi di gas naturale dovuti al riscaldamento domestico in Veneto

Il contatore del gas di un edificio misura il volume del combustibile transitato, ma l'energia effettivamente consumata dipende dalla massa e dal potere calorifico del gas. Per ridurre il costo dell'apparato di misura, la conversione tra le grandezze viene fatta assumendo i parametri del gas (temperatura, pressione, composizione chimica), usando coefficienti standardizzati e accettando l'errore di calcolo commesso con sistemi di misura più semplici.

Per la produzione di calore in Veneto si usano quasi esclusivamente legna e gas naturale, rispettivamente in stufe a biomassa e caldaie a gas. Va ricordato che il consumo di questi combustibili può anche essere imputato non solo al riscaldamento degli edifici, ma anche ad esempio all'uso in forni per la cottura.

Il consumo di metano in Veneto ha raggiunto un picco nel 2005, dovuto al periodo di crescita delle attività produttive. Il consumo è diminuito tra il 2007 e il 2008 per via della crisi economica. La riduzione dei consumi nel 2020 dovuta al lockdown da Coronavirus sarà determinabile accuratamente solo una volta raccolti ed elaborati i dati sui consumi. Il trend negli anni indica che il gas naturale per le reti di distribuzione agli edifici ha assunto una quota sempre più importante dei consumi. L'uso del metano per la produzione termoelettrica è sceso sia come valore assoluto che come quota relativa, per via dell'interesse ad abbandonare le fonti fossili per la produzione elettrica della regione, preferendo l'importazione o la produzione da fonti rinnovabili.

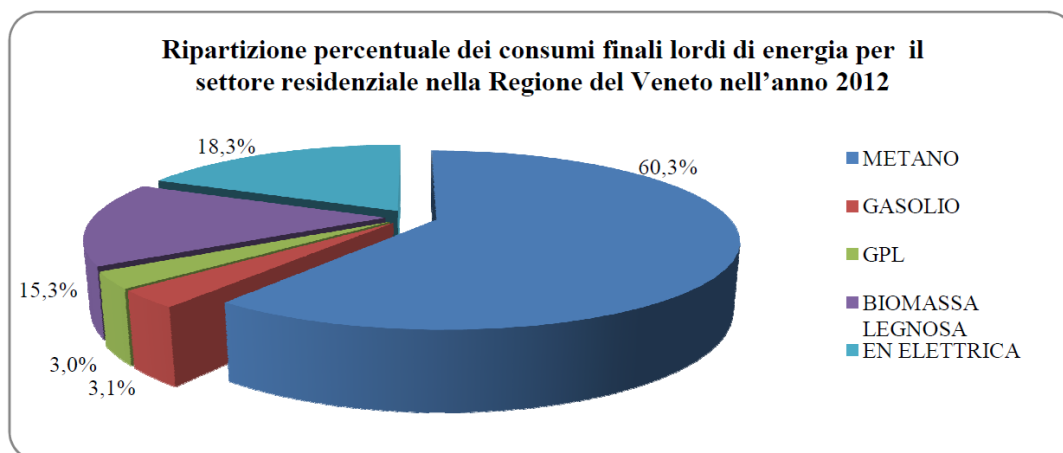


Figura 7 Fonte: DGR 183 del 16 dicembre 2014

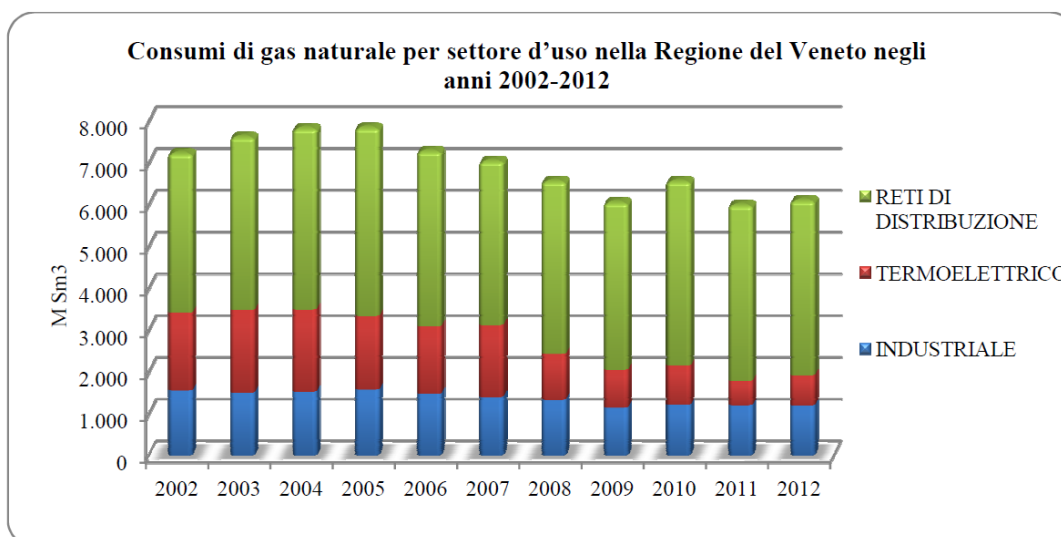


Figura 8 Fonte: AEEG, SNAM

1.3 Il tubo Tucker

Una truffa molto nota nel settore del riscaldamento degli edifici riguarda il tubo Tucker. Il dispositivo era simile a una marmitta per automobili. Secondo i suoi creatori era in grado di abbattere l'inquinamento dei gas di scarico e permetteva di ridurre notevolmente i consumi di combustibile. Il gas (o il gasolio) transitava in un tubo circondato da calamite. Usando il gas "magnetizzato" il rendimento della caldaia aumentava fino ad arrivare, secondo i suoi sostenitori, anche oltre il 100% del PCS del combustibile, permettendo alla caldaia di produrre più energia di quella in ingresso. Il tubo veniva distribuito e venduto con la tecnica del marketing piramidale. Per diventare distributore di zona, un tecnico doveva comprare una quantità minima di dispositivi. Poteva invitare dei colleghi, che diventavano sotto distributori di zona, facendo comprare anche a loro con un numero minimo di tubi.

I giudici hanno stabilito il risarcimento dei danni alle centinaia di persone che si sono costituite parte civile nel processo contro i produttori del tubo Tucker. Secondo il Codacons vennero installati più di 14.000 dispositivi per un volume d'affari di circa 200 miliardi di vecchie lire. Il Garante della Concorrenza e del Mercato stabilì con una sentenza del 2002 che la pubblicità sul prodotto era ingannevole. [W.19]

2 Analisi dei prodotti di combustione

2.1 Lo scopo dell'analisi

L'analisi di combustione è un'operazione obbligatoria per legge che permette di determinare la composizione dei fumi della caldaia. Dai dati raccolti si può capire se ci sono problemi nella combustione e se la caldaia rispetta i vincoli normativi relativamente alle emissioni di materiale inquinante.

È molto importante poter determinare la composizione dei fumi per poter valutare l'entità delle perdite e verificare la qualità della combustione. La norma UNI 10389 prescrive che vengano rilevati la concentrazione di ossigeno, la concentrazione di ossido di carbonio, la temperatura dei prodotti della combustione e la temperatura dell'aria comburente. Per la determinazione di questi parametri si utilizzano apparecchi analizzatori. (Rossi 2013, p.387-390)

Il prelievo dei prodotti della combustione e la misurazione della temperatura degli stessi devono essere eseguiti in corrispondenza di un foro praticato nel condotto di espulsione dei fumi. La posizione del foro è importante perché potrebbe influenzare i risultati dell'analisi, che deve essere fatta in condizioni più uniformi possibili in tutti gli impianti. La composizione dei gas combusti può essere rappresentata graficamente con il triangolo di combustione o di Ostwald. Con questo grafico si possono ricavare il contenuto di CO e l'eccesso d'aria note le percentuali di CO₂ e O₂. Sulle ascisse è riportato il contenuto percentuale di O₂, sulle ordinate il contenuto percentuale di CO₂. La norma UNI 10389 fissa i valori massimi consentiti per il monossido di carbonio (in parti per milione di sostanza) e l'indice di fumosità, un parametro d'interesse solo per le caldaie a combustibile liquido che si misura con la scala Bacharach. (Rossi 2013, p.393-396)

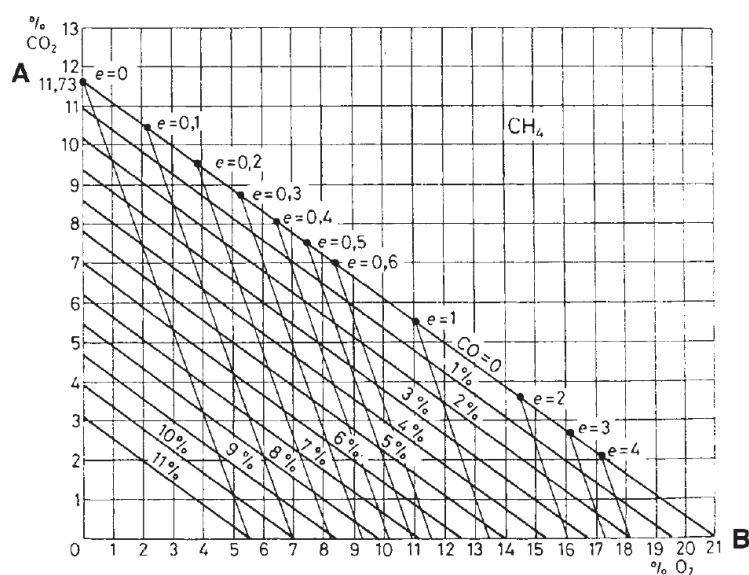


Figura 9 Triangolo di combustione per gas metano.
Fonte: Manuale dell'ingegnere meccanico, Hoepli, Milano 1994.

2.2 L'analizzatore di fumi

I moderni strumenti portatili si avvalgono di celle elettrochimiche simili ad una pila. Hanno un loro potenziale, a cui corrisponde una corrente. Se l'ossigeno entra nella cella e si combina con l'anodo, la corrente che circola all'interno della cella varia in funzione del tenore di ossigeno presente. Opportunamente trasformato, questo segnale consente di valutare la concentrazione di O₂. Analogo funzionamento si ha per le celle CO, NO, SO₂. Il contenuto di CO₂, le perdite di tiraggio e l'eccesso d'aria vengono calcolati dallo strumento. La norma raccomanda che tutte le misurazioni siano fatte nello stesso punto e preferibilmente con un apparecchio multifunzione. Nessuna misurazione può essere considerata valida se lo strumento con cui viene eseguita non è tarato e omologato presso enti qualificati. La norma UNI 10389 prescrive i campi di misura e le incertezze che lo strumento deve avere. Oltre ai valori di O₂, CO e CO₂ presenti nei prodotti della combustione occorre misurare le temperature dell'aria comburente, dei fumi e del fluido termovettore. I termometri per l'aria comburente e per i prodotti della combustione devono avere un intervallo di misura e incertezza di lettura compatibili con quanto richiesto dalla norma. (Rossi 2013, p.390-392)

La sonda fumi è inserita nel condotto di espulsione dei gas combusti attraverso un apposito foro. Il campione di gas da analizzare deve essere aspirato e portato alle celle

di misura opportunamente deumidificato e depurato dai residui solidi della combustione. A tale scopo viene utilizzato una trappola anticondensa. Il gas viene quindi analizzato nelle sue componenti da sensori elettrochimici e infrarossi. La cella elettrochimica garantisce risultati molto precisi.

Prima di una misura lo strumento va tarato lasciandolo per tre minuti a contatto con l'aria ambiente. Questa è la fase di autozero. Durante questa fase lo strumento aspira aria pulita dall'ambiente e rileva le derive dallo zero delle celle, le compara con i valori programmati e provvede alla loro compensazione.

È importante che questa fase venga eseguita in un ambiente con aria pulita. Ad autozero terminato la sonda dello strumento viene inserita nel camino. La fase di analisi dei fumi vera e propria dura circa cinque minuti. (Seitron 2019, p.27,28)

La misura dell'ossigeno viene eseguita con una cella elettrochimica che è soggetta, nel tempo, a perdere sensibilità. Le misure dei gas tossici vengono effettuate con sensori elettrochimici che non sono soggetti ad un deterioramento naturale perché esenti da processi di ossidazione. I tempi di risposta delle celle di misura utilizzate nell'analizzatore sono dell'ordine di pochi minuti. (Seitron 2019, p.11)

Al termine della prova di combustione lo strumento viene pulito lasciandolo funzionare con aria ambiente per altri cinque minuti. (Seitron 2019, p.38)



Figura 10 Analizzatore dei prodotti di combustione Chemist 600 con sonda (Fonte: Seitron)

2.3 Lo scontrino dell'analisi fumi

[illegible]

Figura 11 Scontrino con i risultati dell'analisi dei fumi (Fonte: Seitron)

Tra i parametri più importanti nell'analisi di combustione vi sono:

- L'indice d'aria, indicato come λ o n ;
 - L'Eccesso d'aria, rapporto in percentuale tra il volume di aria che entra nella camera di combustione e quella che servirebbe in teoria;
 - ΔT , la differenza tra la temperatura dei fumi e la temperatura dell'aria di combustione;
 - Q_s (PCI), le perdite al camino in relazione al Potere Calorifico Inferiore;
 - η_s (PCI), il rendimento di combustione che considera fra le perdite il solo calore sensibile disperso al camino. È riferito al Potere Calorifico Inferiore (PCI) del combustibile ed è il valore che va confrontato con i rendimenti minimi imposti dalla legge nella verifica delle prestazioni degli impianti termici;
 - NO_x , la quantità di ossidi di azoto;
 - CO , la concentrazione di monossido di carbonio nei fumi, in ppm o mg/m^3
- (Seitron 2019, p.176)

Caldaie basate su tecnologie diverse produrranno risultati diversi nell'analisi di combustione. Grazie al database aziendale fornito da Campello Marco S.R.L. è possibile fare delle valutazioni sulla natura di questi risultati. I dati sono stati raccolti tra il 2005 e il 2020 per 6100 impianti di riscaldamento di edifici residenziali. Questi dati riguardano caldaie con potenze al focolare minori di 35 kW e soggette quindi alle normative meno stringenti. In particolare, le taglie considerate sono 24 kW, 28 kW, 32 kW o 34 kW.

L'81% delle caldaie usa metano, il 13% usa GPL e il 6% usa gasolio.

La temperatura dei fumi sarà di 55-60°C nelle caldaie a condensazione, 115-120°C o 170-180°C nelle caldaie tradizionali.

La temperatura dell'aria comburente oscilla mediamente tra i 10 e i 25°C. Tipicamente si tratta dell'aria di un locale caldaia interno all'edificio e non necessariamente riscaldato.

La temperatura minore se la caldaia viene installata all'esterno e la misurazione viene fatta d'inverno. Trattandosi di aria atmosferica, la sua temperatura è quasi sempre compresa tra 0°C e 40°C.

La percentuale di ossigeno nei fumi è tra il 4% e il 5,5%, ma non è raro trovare valori maggiori.

Valori attesi per la percentuale di CO₂ sono 5,5% o 10,5% ma più tipicamente si riscontra un 9%. La concentrazione di CO nei fumi secchi è minore di 40 ppm in più della metà dei casi ed è sempre minore di 100 ppm.

Per l'indice d'aria si usa 1,25 o 1,32 nella maggior parte dei casi.

Qs è del 2% o del 8% a seconda del tipo di caldaia, di conseguenza il rendimento di combustione può assestarsi attorno al 92% o al 98%. Il rendimento minimo di legge è del 92% o del 87%.

3 Emissioni

I prodotti della combustione stechiometrica del gas naturale sono vapore acqueo e anidride carbonica. Nella combustione incompleta vengono prodotti anche monossido di carbonio, idrocarburi incombusti e particolato, in quantità maggiori per sistemi con combustione più inefficiente. (Thornley & Adams 2018, p.129)

In seguito verranno analizzati questi ed altri prodotti della combustione che possono peggiorare la qualità dell'aria, costituendo una minaccia per la salute delle persone e degli animali. Per queste specie esistono limiti di legge con lo scopo di contenerne le emissioni. I valori, esprimibili in milligrammi di sostanza su unità di volume dei fumi, sono assegnati in base alla taglia dell'impianto di riscaldamento, alla sua età e al tipo di combustibile impiegato.

3.1 Anidride carbonica (CO₂)

L'emissione di CO₂ è il principale problema ambientale dell'uso delle caldaie a gas per il riscaldamento degli edifici. A parità di calore generato, la combustione di gas naturale emette meno anidride carbonica rispetto ad una stessa massa di carbone o gasolio. Di conseguenza l'uso di caldaie a metano è una scelta più sostenibile se paragonata alle tecnologie a gasolio o a carbone, anche per via delle minori emissioni di particelle come ceneri e composti dello zolfo.

La CO₂ non è propriamente un inquinante, ma in quanto causa dell'effetto serra e quindi del riscaldamento dell'atmosfera è necessario intervenire affinché le emissioni siano il più possibile limitate. Diversamente dalle stufe a biomassa, le caldaie a gas non sono

tecnologie “carbon neutral” e contribuiscono sempre alle emissioni antropiche di anidride carbonica in atmosfera.

3.2 Monossido di carbonio (CO)

I livelli di CO sono significativamente influenzati dalla presenza di processi di combustione con ventilazione scarsa o assente. In questi casi le concentrazioni interne agli edifici possono superare quelle esterne. La vicinanza di sorgenti esterne come strade a elevato traffico e parcheggi può avere un impatto sulle concentrazioni all'interno degli edifici. (Rossi 2013, p.439)

La sua formazione e distruzione è direttamente connessa al processo di combustione dei composti organici. È un gas velenoso in quanto inibisce la capacità del sangue di trasportare ossigeno. La formazione di CO è favorita da un rapporto combustibile/aria alto e maggiore di quello stechiometrico.

La quantità di inquinanti può essere tenuta sotto controllo riducendone la produzione o rimuovendoli dai fumi. Nel caso del CO, si riduce la produzione aumentando l'eccesso d'aria, mentre lo si rimuove dai fumi facendolo reagire con i radicali OH presenti in camera di combustione ad alte temperature, per trasformarlo in CO₂.

Dagli edifici vengono prodotti più del 30% delle emissioni di CO da tutti i settori. La colpa ricade sulle attività di cucina, illuminazione e riscaldamento. (World Energy Council, 2015)

3.3 Ossidi di zolfo (SO_x)

La presenza di diossido di zolfo nei fumi è causata dalla presenza di Zolfo nel combustibile. Gli SO_x sono causa delle piogge acide. Il controllo delle emissioni di SO_x negli impianti di riscaldamento si effettua quindi selezionando un combustibile povero di zolfo. Il gas naturale distribuito nei metanodotti, diversamente dal carbone e dal petrolio, non ha quantità rilevanti di zolfo perché viene trattato. Le emissioni di SO_x dalla combustione di gas naturale non rappresentano quindi un problema. (Grimm & Rosaler 1998, p.149,150)

La biomassa, principale alternativa al gas naturale per il riscaldamento domestico presenta anch'essa una bassa quantità di emissioni di SO_x se paragonata alla combustione del carbone. (World Energy Council, 2015)

3.4 Particolato solido (PM₁₀)

All'interno degli edifici il particolato è prodotto principalmente dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti. La composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e alle condizioni in cui avviene la reazione. (Rossi 2013, p.439)

Il particolato emesso dalle caldaie è una nube di particelle sferiche di diametro minore di mezzo millimetro, costituite da sostanze volatili a base di carbonio e cenere. Queste polveri possono essere sostanze solide o liquide, organiche o inorganiche. Il fumo visibile è composto da particolato e un aerosol di specie volatili. La natura del particolato emesso dipende dalle condizioni del combustibile e della camera di combustione e influenza il comportamento dei fumi in atmosfera ai fini dell'effetto serra. (Thornley & Adams 2018, p.129)

Può depositarsi sui materiali e sulla flora con effetti nocivi. Per la fauna è tossico, in quanto può essere inalato e provoca danni all'apparato respiratorio e in particolare ai polmoni.

Dagli edifici, per le attività di cucina, illuminazione e riscaldamento, vengono prodotti quasi il 50% delle emissioni di PM2.5. (World Energy Council, 2015)

I dispositivi di abbattimento consistono in diverse tipologie di filtri. A parità di calore prodotto, il gas naturale ha emissioni di ceneri volatili (particolato) 10 volte inferiori in tonnellate di sostanza prodotta rispetto al carbone e al petrolio.

3.5 Ossidi di azoto (NOx)

Gli ossidi di azoto si distinguono per i tre modi in cui possono formarsi.

I Fuel NOx si formano dall'ossidazione di specie contenenti azoto all'interno del combustibile. Nel gas naturale queste specie sono quasi assenti. I Prompt NOx si formano da una reazione tra l'aria di combustione e i radicali OH che si formano durante la combustione. I Thermal NOx si formano dalla reazione di ossigeno con l'azoto dell'aria comburente, in quantità maggiore a temperature più alte. Questo è il meccanismo dominante per la formazione degli ossidi d'azoto. (Thornley & Adams 2018, p.129)

Le reazioni chimiche che li formano e distruggono non fanno parte del processo di combustione, ma hanno luogo in condizioni generate dalla combustione.

Queste anidridi reagiscono con l'umidità dell'aria formando i rispettivi acidi che hanno effetti nocivi su materiali, flora e fauna. Contribuiscono a piogge acide e smog fotochimico. (Grimm & Rosaler 1998, p.149,150)

Il metano ha emissioni di NOx più basse rispetto al carbone e al petrolio, ma sono sempre nello stesso ordine di grandezza.

Gli edifici, relativamente alle attività di cucina, illuminazione e riscaldamento, danno un contributo minore del 5% alle emissioni di NO₂ da tutti i settori dell'attività umana. La maggior parte viene prodotta dal settore dei trasporti. (World Energy Council, 2015)

3.6 Inquinamento acustico

Un generatore di calore non inquina solo attraverso le emissioni di massa in forma solida o gassosa, ma può presentare anche sgradevoli emissioni di energia. Tra queste vi è la rumorosità durante il funzionamento.

Il rumore prodotto dalla combustione può propagarsi all'edificio attraverso il sistema di scarico dei gas combusti. Per risolvere questo problema, soprattutto negli impianti con generatori di taglie maggiori per i condomini o gli esercizi commerciali, si usa il silenziatore fumi, che riduce il rumore nel tubo. La sua perdita di carico deve essere considerata nella fase di calcolo del sistema di scarico dei gas combusti. Per impianti con caldaie a condensazione è necessario utilizzare esclusivamente silenziatori per gas combusti resistenti alla corrosione. (Buderus 2014, p.74)

3.7 La condensa acida

Un altro prodotto indesiderato del funzionamento delle caldaie a condensazione è la condensa acida. Questa va convogliata alla rete delle acque reflue. La normativa UNI 7129:2015 permette di scaricarla anche nelle acque bianche. In questo caso dev'essere praticato il trattamento di neutralizzazione della condensa per non danneggiare il materiale dei condotti di scarico.

Tra i prodotti di combustione molta attenzione deve essere posta al contenuto di vapori solforosi che sono solubili in acqua e che determinano fenomeni di corrosione quando si creano condense di vapore acqueo sulle pareti delle caldaie o dei condotti di fumo. Ciò accade quando queste superfici si trovano a temperatura inferiore al punto di rugiada della miscela gassosa, ad esempio nelle fasi di avviamento o di carico parziale. La presenza di vapori solforosi provoca un aumento della temperatura di rugiada e del rischio di incorrere in fenomeni di corrosione. (Rossi 2013, p.387-392)

La quantità di condensa che si forma per unità di potenza della caldaia è determinata dal combustibile, dalla temperatura di ritorno dell'acqua, dall'eccesso d'aria della combustione e dal carico termico.

Bisogna stabilire se la condensa debba essere neutralizzata prima dello scarico. A tal fine sono impiegabili i dispositivi di neutralizzazione, installabili tra lo scarico della condensa della caldaia e il raccordo con la rete di scarico.

Il dispositivo di neutralizzazione viene riempito con granulato di neutralizzazione. Il contatto che avviene nel dispositivo fra la condensa e il mezzo di neutralizzazione eleva il valore del pH così che la condensa possa essere immessa nella rete di scarico dell'acqua. Il granulato di neutralizzazione esausto deve essere sostituito quando il valore pH della condensa neutralizzata scende troppo. (Buderus 2014, p.78,81)

3.8 Effetto serra e riscaldamento globale

La temperatura media della terra è di 15°, con variazioni giornaliere e stagionali dovute al moto del pianeta.

Esiste un effetto di riscaldamento globale che ha causato l'aumento della temperatura media dell'atmosfera terrestre. Questo fenomeno viene collocato all'inizio del ventesimo secolo e continua fino ai giorni nostri. È associato all'uso di combustibili fossili a base di carbonio, i cui prodotti vengono emessi in forma gassosa in atmosfera. Alcuni di questi sono gas serra perché catturano l'energia solare riflessa dalla superficie terrestre e la irradiano nuovamente sotto forma di raggi infrarossi. Metano, anidride carbonica e ossidi di azoto sono dei gas serra. Tra questi, l'anidride carbonica è la più emessa dalle attività umane in atmosfera, in tonnellate equivalenti di CO₂. In seguito alla rivoluzione industriale, la concentrazione di anidride carbonica è salita da 288 a 410 parti per milione. Per mantenerla entro limiti tollerabili dal pianeta è necessario ridurre la quantità di gas serra emessi in atmosfera, evitando il ricorso ai combustibili fossili. È possibile anche servirsi della cattura di CO₂, una tecnica sperimentale che permetterebbe di immagazzinare l'anidride carbonica in depositi sotterranei. (Fanchi 2004, p.203-205)

3.9 Inquinamento atmosferico e qualità dell'aria

Le caldaie, come tutti i generatori di calore a combustione, contribuiscono anche all'inquinamento atmosferico locale attraverso l'emissione di prodotti della combustione tossici per l'uomo.

L'incidenza delle concentrazioni di alcuni inquinanti atmosferici, fra cui il particolato, nella diffusione di patologie dell'apparato respiratorio negli esseri umani è un fatto assodato e riconosciuto da numerose indagini epidemiologiche a livello mondiale. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) stima che nel 2012 l'inquinamento dell'aria sia stato responsabile nel mondo di circa 7 milioni di decessi, il che lo confermerebbe come il principale rischio ambientale per la salute.

Sulla base di quelle analisi l'OMS riconosce effetti patogeni a concentrazioni di particolato nell'aria ben inferiori a quelli considerati dagli standard di qualità dell'aria attualmente vigenti in Italia. (ENEA 2015, p.1-9)

Dal 2010 al 2019 il 28% delle città monitorate da Legambiente ha superato ogni anno i limiti giornalieri di PM10. Tra le principali fonti di emissione il traffico, il riscaldamento domestico, le industrie e le pratiche agricole. [W.20]

L'inquinamento atmosferico è al momento la più grande minaccia ambientale per la salute umana ed è percepita come la seconda più grande minaccia ambientale dopo il cambiamento climatico. Ogni anno sono oltre 60mila le morti premature in Italia dovute all'inquinamento atmosferico che determinano un danno economico, stimato sulla base dei costi sanitari comprendenti le malattie, le cure, le visite, i giorni di lavoro persi, che in Italia oscilla tra 47 e 142 miliardi di euro all'anno. La Commissione europea ha messo in atto molte procedure di infrazione contro l'Italia e gli altri stati membri per il mancato rispetto dei limiti comunitari in tema di qualità dell'aria. [W.21]

Ad inizio 2020 in Pianura Padana è tornata l'emergenza smog, così come accaduto negli inverni passati. I problemi si sono avvertiti in tutta la penisola. Il principale provvedimento preso per arginare questo problema è il blocco al traffico urbano, ma molti esperti hanno invece spostato l'attenzione sul riscaldamento domestico con stufe a pellet. Se il riscaldamento a biomasse a livello regionale e nazionale incide molto sull'emissioni di PM10 primario, a livello urbano è il traffico il settore maggiormente impattante.

Entrando nello specifico degli inquinati monitorati nel 2019 dalle campagne di Legambiente basate sull'analisi dei dati forniti dai siti dalle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA) emerge come per il PM10 siano 26 le città capoluogo di provincia che hanno superato il limite giornaliero (35 giorni con una media giornaliera superiore ai 50 microgrammi metro cubo). Tra le città più inquinate vi sono Torino, Milano e Rovigo. Nonostante il trend in calo degli ultimi anni ci sono città che rimangono malate croniche di inquinamento atmosferico e che, dati alla mano, non sembrano poterne uscire fuori. (Legambiente 2020, p.5-7)

Il riscaldamento domestico, fonte di emissione molto impattante su tutto il territorio per quanto riguarda le polveri sottili, viene trattato solo in funzione del rinnovo delle caldaie o dell'obbligo di rispettare il limite di 20° di temperatura all'interno degli edifici nelle giornate di emergenza smog. In questo caso ci si affida solo al miglioramento tecnologico da un lato o al buon senso dei cittadini dall'altro, visto che il controllo capillare del rispetto del limite è molto difficile da garantire. (Legambiente 2020, p.9)

3.10 Inquinamento dei generatori di calore a biomassa

La principale tecnologia alternativa alla caldaia a combustibile fossile per il riscaldamento degli edifici è la stufa a biomassa, che presenta un profilo di emissioni inquinanti diverso da quello delle caldaie a gas naturale.

La biomassa è un sostituto dei combustibili fossili, la cui combustione convenzionalmente è considerata carbon neutral dal punto di vista delle emissioni di CO₂, in quanto emette l'anidride carbonica fissata con la fotosintesi nel ciclo vegetativo. Si tratta di un ciclo chiuso in cui la crescita delle piante ricattura le emissioni di carbonio prodotte durante l'uso energetico della biomassa. Al contrario, per le fonti fossili si tratta di grandi masse di carbonio fissato in ere geologiche remote che vengono reimmesse nel sistema.

Nel caso della legna da ardere la quota delle emissioni indirette è molto bassa, mentre per il pellet è più elevata dato che include le emissioni da processi energetici necessari per il suo trattamento. Il beneficio prodotto dall'uso di biomasse dal lato della riduzione delle emissioni di anidride carbonica è spesso cancellato dal lato delle emissioni di particolato. L'uso tradizionale delle biomasse legnose per produzione di energia non è sempre stato sostenibile ed ha spesso provocato deforestazione e conseguente erosione e impoverimento dei suoli.

La crisi economica ha spostato le abitudini degli italiani in merito al riscaldamento domestico. Si è preferito ricorrere alla legna per il suo basso costo rispetto al metano. Ciò ha di fatto portato a un notevole aumento dei consumi di biomassa legnosa. Le valutazioni di policy e gli obiettivi energetico-ambientali trascurano spesso gli apporti emissivi provenienti dalle biomasse solide di altri inquinanti oltre la CO₂ e i conseguenti effetti sulla qualità dell'aria. Misurare gli effetti della diffusione del consumo di biomassa è difficile: gli usi energetici di residui legnosi sfuggono in gran parte alla rilevazione statistica perché spesso non sono il frutto di transazioni commerciali ma avvengono nell'ambito di una economia informale. (ENEA 2015, p.1-9)

Per effetto dell'implementazione delle politiche SEN i consumi finali di energia nel settore Civile potrebbero attestarsi nel lungo periodo tra i 44 MTep e i 50 MTep grazie a interventi di riqualificazione degli edifici, installazione di dispositivi a fonti rinnovabili termiche e misure per l'efficienza degli usi elettrici obbligati e della produzione di ACS. Accanto al contenimento dei consumi energetici, si fanno sentire le politiche di ricorso a fonti energetiche rinnovabili riportate nel Piano d'Azione Nazionale per le Fonti Rinnovabili e nella Strategia Energetica Nazionale. Nel settore residenziale il raggiungimento dei target di FER è affidato da un lato alla promozione dell'acquisto di impianti solari termici, di tecnologie a biomassa e di pompe di calore con il Conto Energia, dall'altro all'obbligo di integrazione di rinnovabili negli edifici di nuova costruzione o in caso di ristrutturazione integrale.

Il maggior ricorso a tecnologie a fonti rinnovabili, in particolare biomasse, e la continua elettrificazione del settore porteranno ad una forte riduzione dei consumi di gas.

Negli ultimi anni si è riscontrato un aumento del contributo al particolato atmosferico associato alla combustione di biomassa per riscaldamento ad uso domestico.

La Direttiva 2008/50/CE è la normativa europea di riferimento per la qualità dell'aria e prevede per il PM_{2.5} due fasi di attuazione: dal 2020 il limite annuale è sceso da 25 a 20 µg/m³.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità propone dei valori guida per l'esposizione della popolazione a PM_{2.5} pari a 10 µg/m³ su base annuale. Dai dati delle stazioni di rilevamento si vede che nel 2012 solo il 6% delle stazioni presenti sul territorio ha rispettato il valore di concentrazione di riferimento dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, mentre circa l'82% ha rispettato il valore limite di 25 µg/m³.

I miglioramenti sulle emissioni di particolato ottenuti negli altri settori potrebbero essere in parte vanificati dall'utilizzo di tecnologie a biomassa nel settore civile. (ENEA 2015, p.12-19)

Riguardo alle tasse sui combustibili, il trattamento preferenziale accordato alle biomasse dovrebbe essere riequilibrato per tenere conto degli impatti negativi sulla salute umana che il loro uso comporta.

Se gli scenari di sviluppo mostrano che le emissioni complessive di inquinanti come il particolato primario si riducono all'orizzonte del 2030 per effetto del miglioramento delle tecnologie adottate, le riduzioni sono minori laddove si ha un aumento dell'utilizzo di

biomassa nel settore residenziale. L'esame delle mappe di concentrazione rivela che rimangono in Italia alcune zone sensibili per le quali le concentrazioni di particolato resterebbero superiori ai limiti OMS. Per tali aree un'ulteriore riduzione delle concentrazioni richiederebbe l'imposizione di standard emissivi molto più stringenti sui piccoli impianti a biomasse nel residenziale oppure misure atte a scoraggiare l'uso stesso delle biomasse nel residenziale e a favorire la sostituzione di caminetti con tecnologie rinnovabili.

Studi più sistematici, con un approccio di analisi del ciclo di vita, sarebbero auspicabili per misurare il "carbon footprint" delle biomasse utilizzate per riscaldamento. Nel definire nuovi obiettivi a lungo termine su energia e clima è utile tener presenti obiettivi e impegni sulla qualità dell'aria e verificare la coerenza fra le varie politiche, per evitare risultati contraddittori e costi aggiuntivi. (ENEA 2015, p.22-26)

Nella combustione della biomassa di solito non si conteggia la CO₂ emessa perché è quasi uguale a quella sottratta all'atmosfera durante la crescita della pianta. In realtà questo è vero solo se si trascurano i consumi energetici relativi al taglio, al trattamento e al trasporto del combustibile legnoso, per cui una valutazione più puntuale richiede un'analisi sull'intero ciclo di vita del combustibile.

I pellet hanno la migliore performance per quanto riguarda le emissioni di CO₂ e CO.

Le emissioni di SO₂ sono più basse di quelle di caldaie a gasolio, ma più alte di quelle a metano. Le emissioni di polveri sono maggiori rispetto a quelle di caldaie sia a gasolio che a metano. [W.22]

Un articolo del Sole 24 Ore riporta che la prima causa di inquinamento da PM10 nell'aria della Lombardia non è il traffico, sono le stufe a pellet e a legna. La combustione di biomasse legnose produce il 45% di tutte le polveri fini che respirano gli abitanti della regione, come certificano le analisi dell'Arpa Lombardia. Inquinano anche gli impianti di riscaldamento a gasolio. Il traffico arriva a produrre appena il 27% di tutte le polveri fini. Il combustibile vegetale, se bruciato in impianti ad alto rendimento, può avere efficienze importanti ed emissioni contenute. La tipologia di combustibile potrebbe configurarsi a bassa emissione di anidride carbonica se proviene da legname a chilometro zero. [W.23]

CAPITOLO 4 - Quadro normativo

1 Le leggi più importanti nell'ambito del riscaldamento

1.1 Legge 10/91

La legge n°10 del 9 gennaio 1991 reca "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia". In Italia il contenimento dei consumi energetici negli edifici è stato per molto tempo regolamentato dalla legge n° 373 del 30 aprile 1976, emanata dopo la prima crisi energetica avvenuta in Italia negli anni 70, e dai suoi decreti attuativi. Regolamentava le prestazioni e l'installazione di impianti finalizzati alla produzione del calore e dei loro sistemi di regolazione, le prestazioni dell'isolamento termico delle strutture degli edifici e le sanzioni previste per la mancata osservanza della legge. La Legge 10/91 sostituisce la legge 373/76 e modifica il panorama legislativo in tema di energia in Italia, introducendo il concetto di certificazione energetica degli edifici. Lo scopo era di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, riducendo i consumi di energia primaria a parità di servizio reso e di qualità della vita. L'ambito di applicazione si estende a tutte le categorie di edifici e non è solo limitato al residenziale, ma comprende quelli a destinazione industriale nei quali venga installato un impianto adibito alla climatizzazione ai fini del comfort delle persone, esclusivamente invernale, o alla produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari. In merito alle responsabilità nell'esercizio e nella manutenzione dell'impianto la normativa ha introdotto due aspetti sostanziali: il primo è la figura del terzo responsabile, che deve possedere adeguati requisiti tecnici e occuparsi della gestione dell'impianto. Sono stati introdotti anche il "libretto di centrale" per impianti con potenzialità superiore a 35 kW e il "libretto di impianto" per impianti con potenzialità inferiore a tale limite. (Rossi 2013, p.846-848)

1.2 Direttiva 92/42/CEE

La direttiva 92/42/CEE del 21 maggio 1992 reca "Requisiti di rendimento per le nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi".

La direttiva va interpretata nell'ambito del programma pluriennale SAVE per la promozione dell'efficienza energetica nell'unione europea. Determina i requisiti di rendimento applicabili alle nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi. Definisce anche i limiti minimi da rispettare a carico nominale e parziale per caldaie tradizionali, a bassa temperatura e a condensazione. Se il rendimento della caldaia supera quello minimo, questa guadagna una o più stelle (★). Viene introdotto l'obbligo di indicare il simbolo di conformità CE sulla caldaia, con indicazioni su come segnalare gli enti incaricati dell'assegnazione e del controllo del marchio. (Direttiva 92/42/CEE, 1992)

1.3 Decreto 412/93

Il Decreto del Presidente della Repubblica n°412 del 26 agosto 1993 reca "Norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia". Il DPR 412 rimane ancora oggi un documento importante per la progettazione degli impianti. Si preoccupa di definire le zone climatiche, classificare gli edifici in base alla loro destinazione d'uso, fissare i valori

massimi della temperatura in ambiente, stabilire i periodi di funzionamento e i limiti di esercizio degli impianti termici in funzione della zona climatica e stabilire i requisiti di dimensionamento degli impianti.

Gli edifici sono classificati in categorie in base alla loro destinazione d'uso.

E.1 è un edificio adibito ad abitazione, inclusi gli alberghi. Si arriva fino ad E.8 per un edificio adibito ad attività industriali. La categoria indica ad esempio quale temperatura interna è consentito per legge avere d'inverno nell'edificio. (Rossi 2013, p.849,853,854)

1.4 Decreto 12/4/96

Il Decreto ministeriale del 12 aprile 1996 reca la "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio degli impianti termici alimentati da combustibili gassosi". Questo decreto definisce ubicazione e caratteristiche delle centrali termiche contenenti generatori di calore alimentati con combustibili gassosi. Il Ministro dell'Interno ha emanato questo decreto per armonizzare le disposizioni riguardanti la progettazione, la costruzione e l'esercizio degli impianti di portata termica complessiva maggiore di 35 kW alimentati con combustibile gassoso a quanto è prescritto nella direttiva del Consiglio della Comunità Europea 90/396/CEE. Si applica agli impianti di climatizzazione di edifici e ambienti, di produzione centralizzata di acqua calda e acqua surriscaldata, a forni da pane e altri laboratori artigiani, a cucine e impianti di sterilizzazione. Gli obiettivi primari del decreto sono la salvaguardia delle persone, degli edifici e dei soccorritori. (Rossi 2013, p.942)

I locali devono essere dotati di una o più aperture permanenti di areazione realizzate su pareti esterne. È consentita la protezione delle aperture di areazione con grigliati metallici, reti o alette antipioggia a condizione che non venga ridotta la superficie netta di areazione. (Rossi 2013, p.949)

1.5 Direttiva 2002/91/CE

La Direttiva 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia è stata recepita in Italia con il D.L. n° 192 del 2005. È uno strumento determinante per le politiche di riduzione dei consumi energetici sul lato della domanda. È una Direttiva sull'efficienza energetica nell'edilizia il cui acronimo inglese è EPBD, ossia Energy Performance Building Directive. Il principale obiettivo della Direttiva è promuovere il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, garantendo che siano intraprese le misure più efficaci sotto il profilo dei costi. Va applicata al patrimonio edilizio esistente.

Viene definito un metodo comune di calcolo del rendimento, detto approccio integrato. Gli edifici dovranno rispettare un rendimento minimo calcolato con questo metodo.

L'impianto termico costituisce un aspetto chiave dell'efficienza energetica. I generatori di calore con potenza utile superiore a 10 kW devono essere ispezionati a intervalli regolari. L'ispezione è attualmente obbligatoria in dieci Stati membri, mentre altri applicano regimi di autoregolamentazione e programmi di informazione.

È obbligatoria la presenza di una certificazione energetica quando si compra o vende un edificio. Questa Direttiva affronta gli aspetti dell'edilizia riguardanti il consumo di energia ai fini del riscaldamento degli ambienti e dell'acqua sanitaria, del condizionamento e dell'illuminazione. Gli impianti non installati, come gli elettrodomestici, non vengono considerati. (Rossi 2013, p.842-844)

Il panorama normativo si è molto modificato con l'emanazione del decreto legislativo n° 192 del 2005 sull'efficienza energetica nell'edilizia. Il decreto si preoccupa di definire le linee generali per regolamentare le modalità di progettazione, realizzazione e certificazione dei sistemi edificio-impianto e le procedure di gestione e manutenzione degli impianti, lasciando a successivi decreti ministeriali l'attuazione vera e propria della direttiva europea. Il decreto riprende i principi già espressi dalla Legge 10/91 e dal suo decreto attuativo.

Richiama esplicitamente come oggetto dell'attenzione per il risparmio energetico la climatizzazione estiva, ma non definisce le condizioni ambientali interne che si ritiene siano da mantenere negli edifici. Le strategie perseguibili devono tenere conto delle esigenze di comfort crescenti e confrontarsi con uno scenario energetico sempre più complesso. Limitatamente al sistema edificio-impianto la strategia per ridurre i consumi energetici e rispondere alla richiesta di maggior benessere ambientale prevede di ridurre i carichi termici degli edifici a parità di benessere, applicare le tecnologie più efficienti e progettare i sistemi edificio-impianto come sistemi integrati, sfruttando le loro sinergie. Come conseguenza del decentramento in atto, le regioni e le province autonome hanno acquisito autonomia legislativa in materia di energia e alcune hanno già provveduto, come consente la stessa direttiva, a un suo recepimento diretto, rendendo il panorama normativo particolarmente complesso. (Rossi 2013, p.841,842)

1.6 Direttiva 2009/28/CE

La Direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili riguarda anche il settore del riscaldamento domestico. La direttiva promuove fortemente l'uso del teleriscaldamento in opposizione al sistema tradizionale di generazione distribuita. Impone agli stati di produrre un piano d'azione nazionale per le energie rinnovabili, fissando gli obiettivi per le quote di fonti rinnovabili in diversi settori, tra cui il riscaldamento degli edifici. La direttiva descrive come questa voce di consumo energetico dev'essere considerata nel calcolo del consumo finale lordo di energia. La direttiva sottolinea la necessità di sviluppare programmi di formazione per gli installatori di caldaie, stufe a biomassa e altri impianti che usano l'energia. (Direttiva 2009/28/CE, 2009)

1.7 Norma UNI 7129

Nel 2015 è stata pubblicata una nuova versione della norma UNI 7129 "Impianti a gas per uso domestico e similare alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione e messa in servizio". Riguarda l'installazione di nuovi impianti e la ristrutturazione o modifica di impianti esistenti di portata termica inferiore a 35 kW. Può essere considerata un Testo Unico per gli impianti a gas. Ingloba tutte le regole per la progettazione, l'installazione e la manutenzione a regola d'arte di impianti a gas per uso domestico. La UNI 7129:2015 è composta da 5 parti.

La UNI 7129-1 fissa i criteri per la costruzione di impianti interni con apparecchi utilizzatori aventi singola portata termica nominale massima minore di 35 kW.

La parte 2 definisce i criteri per l'installazione di questi apparecchi e per la realizzazione della ventilazione dei locali di installazione.

La UNI 7129-3 definisce i requisiti dei sistemi di evacuazione dei prodotti della combustione. Si parla anche della possibilità di evacuare i prodotti della combustione attraverso canne collettive in pressione positiva. Questa innovazione è stata introdotta

per tenere conto che da settembre 2015 le direttive comunitarie non consentono più la fabbricazione di caldaie di tipo C tradizionali, a vantaggio delle caldaie a condensazione. La realizzazione e l'utilizzo di queste canne fumarie collettive prevede la presenza di dispositivi che non consentono il ritorno dei prodotti della combustione negli apparecchi non in funzione.

La UNI 7129-4 definisce i criteri per la messa in servizio sia degli apparecchi di utilizzazione aventi singola portata termica minore di 35 kW, sia degli impianti gas di nuova realizzazione. Sono stati inseriti nuovi controlli relativi agli apparecchi a condensazione: la verifica della corretta installazione del sistema di scarico condense e la verifica del corretto collegamento dell'apparecchio allo scarico.

L'ultima parte della norma definisce le modalità per la raccolta e lo scarico delle condense prodotte dai generatori di calore a condensazione e a bassa temperatura e quelle che si formano nei sistemi di evacuazione dei prodotti della combustione. (Norma UNI 7129:2015, 2015)

2 Obblighi di legge

2.1 La manutenzione ordinaria

La manutenzione della caldaia a condensazione è un obbligo di legge. Non viene fatta solo per evitare la sanzione amministrativa a seguito dei controlli che i comuni possono effettuare. Si fa anche per ridurre i consumi, inquinare meno, risparmiare sulla bolletta, avere un impianto più efficiente e ridurre il rischio di guasti, che comporterebbero degli interventi di manutenzione straordinaria. Dall'aprile 2013 è attivo il DPR n. 74 in materia di controlli sull'efficienza energetica dei sistemi di climatizzazione.

Il Decreto del Presidente della Repubblica n° 74 è un regolamento recante "definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari", che riprende il decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005 riferito alla direttiva 2002/91/CE.

Il decreto descrive i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi cui affidare l'ispezione degli impianti di climatizzazione. Vengono definite le temperature consentite all'interno degli edifici e i periodi di tempo per cui è permesso tenere acceso l'impianto di riscaldamento in un giorno. (D.P.R. 74/2013, articoli 3 e 4)

La manutenzione dell'impianto termico e il rispetto delle disposizioni di legge in materia di efficienza energetica sono affidati al responsabile dell'impianto, che può delegarle ad un terzo. Il decreto descrive i doveri del terzo responsabile. (D.P.R. 74/2013, articolo 6)

Le operazioni di controllo e manutenzione dell'impianto devono essere eseguite da ditte abilitate, conformemente alle prescrizioni e con la periodicità contenute nelle istruzioni tecniche per l'uso e la manutenzione rese disponibili dall'impresa installatrice dell'impianto. Gli installatori e i manutentori degli impianti termici devono dichiarare esplicitamente all'utente le operazioni di controllo e manutenzione di cui necessita l'impianto e con quale frequenza le operazioni vadano effettuate. (D.P.R. 74/2013, articolo 7)

Al termine delle operazioni il tecnico che effettua il controllo provvede a redigere e sottoscrivere uno specifico Rapporto di controllo di efficienza energetica. Una copia è trasmessa a cura del manutentore alla Regione o Provincia autonoma competente per territorio, possibilmente con strumenti informatici. Il rendimento di combustione, rilevato

nel corso dei controlli e misurato alla massima potenza termica effettiva del focolare del generatore di calore nelle condizioni di normale funzionamento e in conformità alle norme tecniche UNI in vigore, deve risultare superiore ai valori minimi riportati nel decreto. (D.P.R. 74/2013, articolo 8)

Il rendimento di combustione si ricava dall'analisi dei fumi di combustione, che può rilevare anche la quota di gas nocivi emessi dalla caldaia.

Il decreto indica che le autorità competenti effettuano gli accertamenti e le ispezioni necessari a verificare l'osservanza delle norme relative al contenimento dei consumi di energia nell'esercizio e manutenzione degli impianti termici. Le regioni e le province autonome, nell'ambito delle proprie competenze territoriali, devono stabilire le modalità per l'acquisizione dei dati necessari alla costituzione di un catasto degli impianti termici e allo svolgimento dei propri compiti. (D.P.R. 74/2013, articolo 9)

Il decreto indica anche la periodicità della manutenzione obbligatoria per i generatori di calore basati su diverse tecnologie.

2.2 Obblighi di legge circa il rendimento di combustione

Il DPR n° 551 del 21 dicembre 1999 indica che il rendimento termico utile di un generatore di calore non deve essere inferiore a determinati valori minimi.

Negli impianti termici di nuova installazione, nella ristrutturazione degli impianti termici e nella sostituzione di generatori di calore, i generatori ad acqua calda devono avere un "rendimento termico utile" conforme a quanto prescritto dal Decreto del Presidente della Repubblica n° 660 del 15 novembre 1986.

La verifica del "rendimento termico utile" dei generatori di calore deve essere effettuata secondo le metodologie indicate nelle norme tecniche UNI o con le metodologie riportate in norme tecniche equivalenti di altri paesi membri della Comunità Europea. (Rossi 2013, p.400,403)

2.3 Limiti di impiego dei combustibili

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri dell'8 marzo 2002 disciplina le caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico. I combustibili per usi civili sono quelli utilizzati negli impianti termici non inseriti in un ciclo di produzione industriale. Il decreto fornisce una definizione dei combustibili consentiti in questi impianti. (Rossi 2013, p.404-406)

3 Incentivi

Per incentivare gli interventi in efficienza energetica negli edifici sono state adottate diverse iniziative volte ad aiutare economicamente chi sostiene le spese dell'intervento. Prima di considerare un intervento di sostituzione della caldaia, è consigliato lavorare sull'isolamento termico dell'edificio per diminuire il fabbisogno di energia termica. Questo permette di scegliere una nuova caldaia di taglia minore, risparmiando sul suo acquisto. Entrambi gli interventi sono coperti dalle agevolazioni fiscali.

3.1 Bonus 65% per l'installazione di caldaie a condensazione

La Legge di Bilancio 2019 ha riconfermato la detrazione del 50% o del 65% per l'acquisto di caldaie a condensazione. In particolare la detrazione in vigore supporta la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione con efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente maggiore del 90%. In questo caso è prevista una detrazione del 50%.

È coperta anche l'installazione di sistemi di termoregolazione evoluti, appartenenti alle classi segnalate dalla commissione europea, e l'installazione di impianti dotati di generatori d'aria calda a condensazione. In questi casi, la detrazione è del 65%.

Vi possono accedere tutti i contribuenti che sostengono le spese di riqualificazione energetica e posseggono un diritto reale sull'edificio. Gli edifici in questione devono essere accatastati e in regola con il pagamento di eventuali tributi. Sono agevolabili tutte le spese legate all'intervento di installazione della caldaia, compresa la manodopera e gli allacci alla rete. L'intervento deve configurarsi come sostituzione totale o parziale del vecchio generatore termico e non come nuova installazione. Nella caldaia dev'essere adottato un bruciatore di tipo modulante e la regolazione climatica deve agire direttamente sul bruciatore. [W.24]

Una FAQ dell'ENEA riporta che l'Attestato di Prestazione Energetica (A.P.E.) va compilato per tutti gli edifici che devono ricevere le detrazioni per gli interventi di riqualificazione globale e per gli interventi sull'involucro. Per la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale è possibile utilizzare generatori di calore ad alto rendimento diversi dalle caldaie a condensazione: sono ammesse anche le pompe di calore ad alta efficienza e i generatori di calore a biomassa.

3.2 Super bonus 110%

Il "Superbonus" è un'agevolazione prevista dal Decreto Rilancio che eleva al 110% l'aliquota di detrazione delle spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 31 dicembre 2021 per specifici interventi di efficienza energetica, antisismici, di installazione di impianti fotovoltaici o delle infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici. Le nuove misure si aggiungono alle detrazioni previste per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio, compresi quelli per la riduzione del rischio sismico (Sismabonus) e di riqualificazione energetica degli edifici (Ecobonus).

È prevista la possibilità di optare per un contributo anticipato sotto forma di sconto dai fornitori dei servizi o per la cessione del credito corrispondente alla detrazione spettante. La cessione può essere disposta in favore dei fornitori dei beni e dei servizi necessari alla realizzazione degli interventi o di istituti di credito e intermediari finanziari. Il Superbonus si applica agli interventi effettuati da condomini o persone fisiche che possiedono l'immobile oggetto dell'intervento. Possono accedervi anche case popolari, cooperative, Onlus, associazioni di volontariato e società sportive.

Il Superbonus spetta in caso di interventi di isolamento termico sugli involucri o sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sulle parti comuni e sugli edifici unifamiliari. La detrazione è riconosciuta nella misura del 110%, da ripartire tra gli aventi diritto in 5 quote annuali, entro i limiti di capienza dell'imposta annua derivante dalla dichiarazione dei redditi. [W.25]

3.3 Il Conto Termico

Il Conto Termico incentiva interventi per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili per impianti di piccole dimensioni. I beneficiari sono principalmente le Pubbliche Amministrazioni, ma anche imprese e privati. Il Conto Termico è un contributo statale e non può eccedere il 65% della spesa ammissibile sostenuta. I soggetti privati intesi come persone fisiche, condomini e soggetti titolari di reddito di impresa possono accedere al Conto Termico per la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale dotati di pompe di calore o per l'installazione di impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria. [W.26]

Il Conto Termico incentiva interventi per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili per impianti di piccole dimensioni. Grazie al Conto Termico è possibile riqualificare gli edifici per migliorarne le prestazioni energetiche, riducendo in tal modo i costi dovuti ai consumi di energia e recuperando in tempi brevi parte della spesa sostenuta. [W.27]

CAPITOLO 5 - Tecnologie alternative

1 Generatori di calore a biomassa

Le stufe a mais e pellet sono la principale alternativa alle caldaie a combustibili fossili nel riscaldamento degli edifici. Le biomasse possono essere usate anche per produrre biogas, etanolo, biometano e syngas, combustibili usati prevalentemente per la produzione di energia elettrica. Negli impianti di riscaldamento di piccola taglia è privilegiata la combustione diretta di mais, pellet o legna. Queste biomasse hanno un contenuto di carbonio molto maggiore del contenuto di azoto, il che le rende ottime per la combustione, ma meno adatte alla digestione anaerobica. Se viene bruciata legna, spesso si tratta di biomassa “non commerciale”, ovvero scarti di potatura o lavorazioni venduti localmente in regime informale. Sono quindi consumi particolarmente difficili da studiare e quantificare.

1.1 La filiera della biomassa

La biomassa è materia organica di origine vegetale o animale, come il legno. Può essere bruciata direttamente o convertita in diverse forme di biocombustibili. Il vantaggio fondamentale della biomassa è che l'anidride carbonica rilasciata dalla combustione è la stessa quantità fissata dalla pianta durante la crescita. Questa tecnologia è quindi teoricamente “carbon-neutral”. La bioenergia è creata dalla combustione di biomassa ed è sempre stata usata come fonte di calore, in particolare prima della rivoluzione industriale. Attualmente si stima che l'uso di bioenergia copra circa il 10% del fabbisogno mondiale di energia primaria. (Thornley & Adams 2018, p.5)

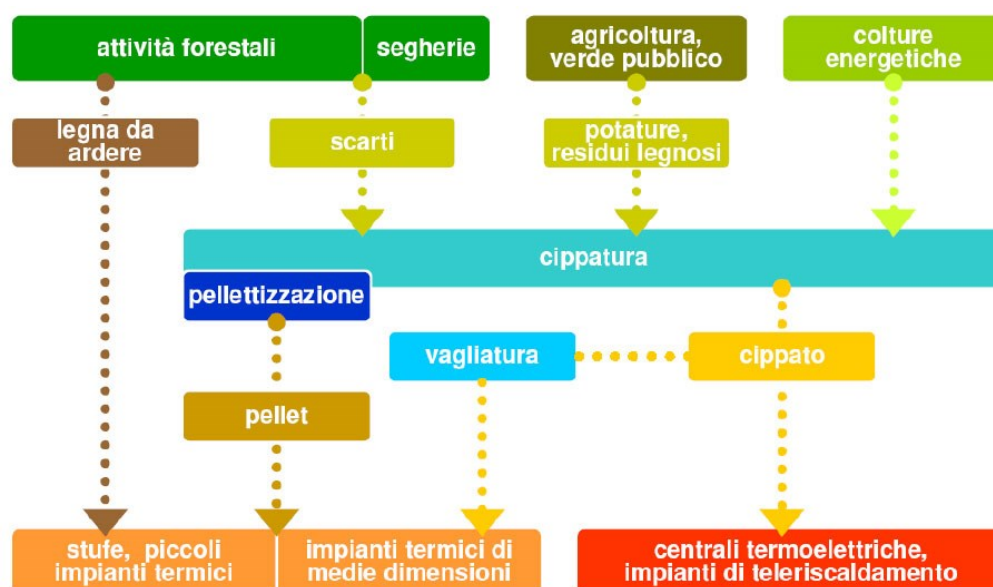


Figura 12 Filiera della biomassa per usi termici (Fonte: Centro ricerche Brasimone, ENEA)

Il pellet è un combustibile solido formato da piccoli trucioli di legno residuo pressati, essiccati e con diametro di 6 millimetri. Il suo potere calorifico dipende dai residui legnosi con cui è costituito e dal grado di umidità.

Più di un milione di famiglie riscaldano le proprie abitazioni con stufe e caldaie che utilizzano pellet, con un significativo risparmio nel budget energetico e un contributo positivo alla tutela dell'ambiente. Il consumo annuo nazionale di pellet ha superato il milione e mezzo di tonnellate. Il mercato è fortemente internazionalizzato, infatti meno della metà del consumo italiano è coperto dalla produzione nazionale.

I sistemi di riscaldamento domestico a pellet contribuiscono in modo importante alla produzione di energia termica da fonti rinnovabili e partecipano al bilancio energetico nazionale.

Il principale sistema di certificazione della qualità del pellet presente in Italia è ENplus. È basato sulla norma EN 14961-2. [W.28]

Oltre al pellet alcune stufe possono usare anche mais. Dalla combustione di 1,6 kg di mais non essiccato si ottiene la stessa energia di 1 m³ di metano. Scegliere le biomasse per il riscaldamento degli edifici permette di risparmiare nei costi del combustibile. Volendo produrre la stessa quantità di calore con combustibili diversi si avrà che il gas naturale costa di più, seguito dal pellet, dalla legna e infine dal mais, che è la scelta più economica.

All'inizio del processo, la biomassa viene coltivata e raccolta. Nel caso particolare della legna e del pellet la biomassa può avere composizione e caratteristiche diverse a seconda della pianta di provenienza o, se si tratta di trucioli scartati, del processo che li ha generati. I parametri più importanti per l'uso energetico sono il potere calorifico superiore, che può essere calcolato dalla composizione chimica della biomassa, e il contenuto di umidità (in percentuale del peso totale).

Dopo la raccolta, la materia prima viene trasportata e immagazzinata. Il pellet è la biomassa con densità maggiore e quindi con ingombro minore in magazzino.

Successivamente avviene la conversione termochimica ad alta temperatura nella stufa. All'aumentare della temperatura, la biomassa subisce prima l'essiccazione fino a 100°C, poi la pirolisi. Questa consiste nella degradazione chimica ad alta temperatura dell'emicellulosa, della cellulosa e infine della lignina. Poi avviene la combustione con fiamma delle sostanze volatili prodotte dalla pirolisi, e infine la combustione del char (il residuo carbonioso poroso ottenuto dalla pirolisi).

Il calore prodotto viene distribuito nei terminali dell'impianto di riscaldamento ad acqua.

1.2 Tecnologie dei combustori di piccola taglia

Gli apparecchi possono essere a caricamento manuale, come i caminetti, o automatico, nel caso di stufe e caldaie a pellet.

I requisiti per installare il prodotto sono la possibilità di realizzare un camino adatto all'evacuazione dei fumi e una presa d'aria nella stanza per compensare l'ossigeno utilizzato nella fase di combustione. Il fluido termovettore è acqua, che viene riscaldata per l'uso sanitario e in radiatori, o aria, ideale per piccoli appartamenti.

Sono disponibili stufe ad aria nell'intervallo di potenza utile (ceduta al fluido termovettore) che va dai 6 ai 15 kW. I rendimenti variano dall'83% a oltre il 90%.

Una stufa ad aria da 9 kW con rendimento dell'87% nel suo funzionamento alla massima potenza consuma in un'ora 2,25 kg di pellet. Nel funzionamento al minimo fornisce un'energia di 3 kWh con un consumo di 600 grammi di pellet ogni ora.

La differenza sostanziale con le stufe ad acqua è l'allacciamento all'impianto idraulico. Il campo di potenze nominali delle stufe ad acqua varia da 12 a oltre 25 kW, e la potenza

ceduta all'acqua varia tra il 70 e l'80% della nominale. Quindi una stufa da 15 kW globali fornisce 11 kW all'acqua e 4 all'ambiente in cui è installata.

I combustori di piccola-media taglia alimentate a pellet usano la tecnica di combustione a griglia e possono essere dotati di diversi tipi di focolare.

Esistono anche bruciatori a pellet. Sono elementi aggiuntivi che, similmente ai bruciatori a metano, possono essere applicati ad una caldaia esistente, la cui conversione è perciò facile. Con l'applicazione di uno scambiatore aggiuntivo dotato di separatore dei condensati, le caldaie possono essere convertite in "caldaie a condensazione". Attraverso l'aggiunta del raffreddatore dei gas e del condensatore del vapore dei gas di scarico si può ottenere un aumento della potenza termica del 10-20%, a seconda del contenuto idrico e della temperatura del circuito di ritorno. Per assicurare un ottimale funzionamento della caldaia a condensazione bisogna garantire che il ritorno non superi la temperatura di 35°C.

Le caldaie automatiche dispongono di un sistema meccanico di alimentazione del combustibile dal silo. Nel caso del pellet, il sistema di estrazione più diffuso è quello con silo a fondo inclinato. Il pellet scivola verso il sistema di trasporto che lo conduce a un serbatoio di stoccaggio adiacente alla caldaia.

Il produttore deve garantire una rete di assistenza su tutto il territorio perché l'impianto deve essere controllato annualmente, soprattutto nel caso in cui il consumo di pellet sia considerevole. La stufa necessita di una semplice pulizia da parte dell'utilizzatore per poter garantire sempre un buon rendimento ed un regolare funzionamento.

Il controllo completo con prova di combustione va svolto ogni 2 anni per potenze minori di 35 kW e ogni anno per potenze superiori, per garantirne un funzionamento corretto. Il controllo deve essere eseguito secondo le indicazioni riportate nel libretto d'uso e manutenzione dell'impianto. Esistono sanzioni per la mancata effettuazione di controlli e prove periodiche e per non aver svolto le prove a regola d'arte. Vengono definiti nel decreto legislativo 192/2005 precedentemente esposto. [W.28]

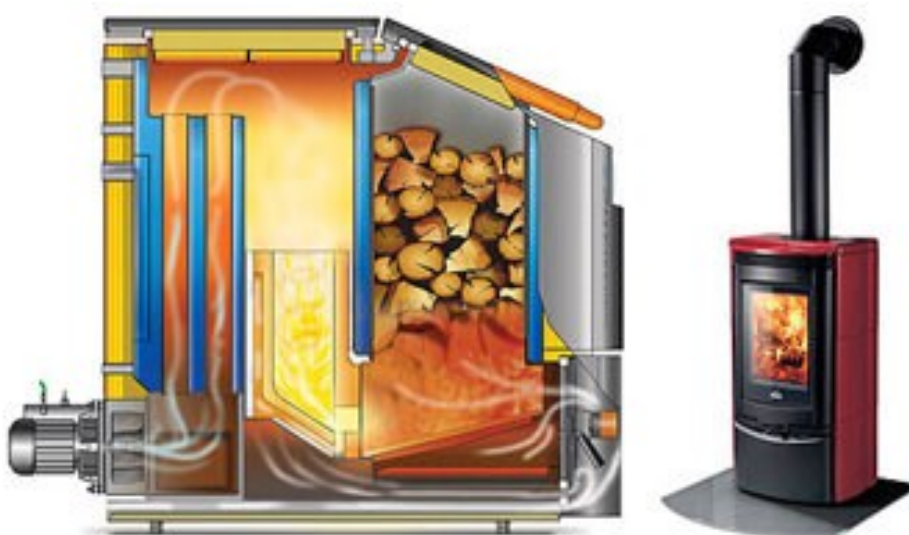


Figura 13 Stufa a biomassa (Fonte: www.caminisulweb.it)

1.3 Aspetto economico

Il costo di una stufa è funzione di tre parametri fondamentali: tipologia (se è ad aria o ad acqua), potenza e tipo di rivestimento. Considerando il prezzo di una stufa da 12 kW, i modelli ad aria si aggirano tra i 900 e i 3000 €, mentre le stufe ad acqua costano dai 2000 ai 3500 €. [W.29]

Oltre al costo della macchina si deve considerare anche il costo di installazione, che varia in funzione dei lavori che devono essere fatti. A grandi linee si deve considerare per l'installazione un costo dai 150 ai 500 €.

Mediamente l'installazione di una stufa a pellet richiede un investimento di circa 200 € per kW di potenza installata. Il costo unitario è minore se si acquistano macchine di taglia maggiore e si scelgono stufe ad aria. [W.28]

D'altra parte una caldaia a gas da 24 kW può costare, compresa l'installazione, tipicamente tra gli 800 e i 2500 euro, mediamente 70 €/kW.

La soluzione con combustibili fossili vanta un minor costo d'investimento, ma a lungo termine il maggior costo del gas naturale rispetto alla biomassa può portare a preferire la stufa a pellet. Per un confronto completo vanno considerati il costo di entrambe le macchine ed è necessario stimare il costo del combustibile per gli anni in cui verrà usato il generatore di calore. La presenza di eventuali incentivi può cambiare il bilancio a favore di una o dell'altra tecnologia.

Le politiche di sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili hanno riguardato fino ad ora quasi esclusivamente la produzione di energia elettrica. Le detrazioni fiscali a sostegno dell'acquisto di caldaie a biomassa non si sono sviluppate al punto da spingere i consumatori a preferire le stufe a pellet rispetto alle caldaie a gas. [W.28]

1.4 Confronto con la caldaia a gas a condensazione

La differenza più ovvia è nel combustibile. Le caldaie a gas naturale lo prelevano dalla rete di distribuzione quando necessario, mentre le stufe a pellet devono avere un serbatoio di combustibile. Una stufa ad aria è diversa da una caldaia a condensazione: la prima emette calore in buona parte per irraggiamento, e per non disperdere inutilmente energia va installata in uno dei locali da riscaldare. La caldaia cede tutto il suo calore al fluido termovettore e può essere installata anche all'esterno dell'edificio. In Italia è possibile vendere solo caldaie a condensazione, mentre una stufa legna non deve obbligatoriamente prevedere la condensazione del vapore dei fumi di scarico. Esistono tuttavia caldaie a pellet a condensazione dove questa viene fatta.

La caldaia è una tecnologia a fonte fossile, mentre la stufa sfrutta una fonte di energia rinnovabile e carbon-neutral, se il processo di approvvigionamento della materia prima è sostenibile. Il panorama degli incentivi e degli obblighi di legge è destinato ad evolversi diversamente per queste due tecnologie, seguendo la necessità di investire sulle fonti rinnovabili e ridurre l'uso di fonti fossili.

1.5 Impatto ambientale

Con l'aumento dell'uso del legno a fini energetici, la deforestazione diventa un problema sempre più grande. Si può mitigare questo problema con i programmi di riforestazione. Un altro aspetto ambientale dell'uso di biomassa è l'aumento dei prodotti dannosi della combustione, come il particolato. (Fanchi 2004, p.395)

La biomassa viene essiccata e trasformata in pellet, una forma di combustibile standardizzata e ad alta densità di bulk, quindi più facile da trasportare. Questo processo è più energivoro rispetto alla tradizionale produzione di legno cippato.

L'impatto ambientale della biomassa va analizzato con una tecnica di life cycle assessment per considerare tutte le fasi di vita, dalla coltivazione allo smaltimento dei prodotti di combustione. (Thornley & Adams 2018, p.169-171)

Per ottenere un elevato rendimento e un basso livello di emissioni nocive si cerca di ottenere una combustione più completa possibile. La non completa combustione è la principale causa della formazione delle emissioni nocive.

Fra gli apparecchi domestici a legna, le stufe e le caldaie a pellet sono da considerarsi le più virtuose. Il rendimento al focolare di una stufa a pellet raggiunge valori compresi fra l'80 e il 90%, comparabile con gran parte delle caldaie centralizzate a pellet.

Le moderne caldaie raggiungono rendimenti superiori all'85% e nei modelli più recenti si oltrepassa stabilmente il 90%.

Un aspetto che deve essere considerato è l'effetto nocivo delle diverse categorie di polveri emesse dalla combustione delle biomasse. La tossicità del particolato inorganico è inferiore rispetto alla fuliggine emessa dalle automobili Diesel. Tra gli apparecchi domestici, le stufe a pellet sono caratterizzate da più alti rendimenti e minori fattori di emissione di particolato. [W.28]

Da un confronto tra caldaie a gasolio, metano e pellet emerge che il pellet ha le migliori prestazioni per quanto riguarda le emissioni di CO₂ e CO. Le emissioni di SO₂ delle stufe a pellet sono minori delle caldaie a gasolio, ma maggiori di quelle a metano. Le emissioni di polveri sottili risultano maggiori di un fattore 3 per le caldaie a biomassa rispetto alle caldaie a gasolio o metano.

2 Tecnologie senza combustione

Negli ultimi anni, grazie a un mercato aperto all'innovazione e ai programmi di investimento sull'energia rinnovabile, si sono sempre più diffuse nuove tecnologie per il riscaldamento degli edifici. In seguito verranno presentate le più importanti.

2.1 Collettori solari

Il crescente bisogno di energia rinnovabile causato dall'esaurimento delle riserve di combustibili fossili e la preoccupazione riguardo agli effetti del loro uso sull'ambiente hanno accelerato la ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative per sfruttare l'energia solare. Il sole è la fonte più promettente di calore ed energia elettrica, ma può anche essere usato in cicli frigoriferi. Le tecnologie di solar cooling sono particolarmente interessanti per il peak shaving, dato che la produzione massima di energia elettrica si ha quanto i pannelli fotovoltaici erogano la potenza massima, in coincidenza con il picco di domanda dovuto all'uso dei condizionatori. I sistemi di solar cooling usano dei collettori per catturare la radiazione solare e trasformarla in elettricità o calore, che viene usato per azionare un'unità di raffreddamento. Essendo una tecnologia all'avanguardia, per ora non ci sono molte installazioni. (Karellas et al. 2019, p.12)

Una soluzione più diffusa consiste semplicemente nell'installare pannelli fotovoltaici dimensionati con una potenza sufficiente per coprire la domanda elettrica del condizionatore dell'edificio. In questa soluzione i due impianti restano separati.

Nei pannelli solari termici il calore viene raccolto e trasferito ad un fluido. Negli edifici vengono installati impianti di bassa o media potenza, e il fluido termovettore è

tipicamente una miscela di acqua e antigelo. Il calore può essere usato in un impianto di raffreddamento o immagazzinato per scaldare l'edificio quando viene meno l'irraggiamento solare. I pannelli solari ibridi combinano le celle fotovoltaiche con un sistema di estrazione del calore, per cogenerare energia elettrica e termica. (Karellas et al. 2019, p.81)

L'efficienza dei pannelli solari dipende dalla latitudine d'installazione e dalla loro inclinazione. Nei paesi del nord la domanda di calore è maggiore e l'apporto solare disponibile è minore. Questo rende particolarmente importante l'ottimizzazione dei pannelli. (Sorensen 2011, p.685)

Dal punto di vista costruttivo, i collettori possono essere piani o a tubi evacuati. Il loro rendimento dipende dalla temperatura esterna e dalla natura dello strato protettivo in vetro, che deve essere selettivo per ostacolare le perdite di calore dal pannello verso l'esterno. Questi pannelli possono essere installati in un impianto a circolazione naturale o forzata. Si possono integrare con una caldaia a gas per coprire il carico termico nei momenti in cui l'apporto solare non è sufficiente. L'impianto può essere realizzato a loop chiuso: in questo caso, il fluido termovettore trasporta il calore dai pannelli solari ad un serbatoio d'acqua calda stratificato che viene alimentato anche dalla caldaia. Da questo serbatoio è prelevata l'acqua calda per gli usi sanitari.

L'applicazione più diffusa del solare termico in Italia è quella della singola utenza per la produzione di ACS. È molto frequente la combinazione con una caldaia alimentata a gas naturale. Il costo dell'impianto varia in funzione dello stato dell'edificio dove viene installato e della qualità dei pannelli che si vuole installare. Se si tiene conto dell'IVA e dei costi di manodopera, la spesa è di circa 1000€ per ogni metro quadro di pannello installato. È possibile detrarre il 65% della somma suddividendo il bonus nei 10 anni successivi all'installazione.

Un'opportunità più recente è quella del "Conto Termico", strumento gestito interamente dal GSE. Un impianto con una superficie captante inferiore a 50 m² riceverebbe 170 €/m² per ogni anno, su un periodo di 2 anni. Il conto termico è in grado di coprire il 30-40% dell'investimento. Si tratta di percentuali decisamente inferiori a quelle ottenibili con le detrazioni fiscali, ma questo incentivo viene corrisposto in un periodo più breve. Inoltre, è un sistema che prevede una reale remunerazione dell'utente finale e non una riduzione delle tasse. Il tempo di ritorno dell'investimento, anche nei casi più sfavorevoli, è inferiore ai 10 anni, mentre il tempo di vita utile solitamente considerato plausibile per un impianto solare di buona qualità è di almeno 20 anni. La producibilità dell'impianto gioca un ruolo fondamentale nel determinare la fattibilità dell'investimento. [W.30]

2.2 Pompa di calore

La pompa di calore usa l'energia elettrica per fornire o estrarre calore dall'edificio. Questo può essere usato in un impianto a pannelli radianti per riscaldare gli ambienti d'inverno o per produrre acqua calda sanitaria. Nei mesi estivi, grazie ad una valvola a quattro vie, la pompa di calore può asportare calore dall'edificio, garantendo il comfort estivo. A differenza della caldaia, è una tecnologia che può funzionare tutto l'anno.

Le pompe di calore sono più efficienti perché sono progettate per produrre calore a bassa temperatura. Una caldaia produce acqua troppo calda per gli usi sanitari e per i pannelli radianti. È necessario quindi miscelarla con acqua fredda, introducendo notevoli perdite di exergia che riducono l'efficienza totale dell'impianto.

Lo svantaggio è che per avere elevate prestazioni, la pompa di calore non può essere accoppiata con i termosifoni, escludendola come possibilità per gli edifici più vecchi. (Sorensen 2011, p.355)

La pompa di calore è basata su un ciclo termodinamico inverso, che assorbe lavoro per trasferire calore. Usa un fluido frigorifero scelto per ridurre l'impatto ambientale e il contributo all'effetto serra di eventuali fughe dall'impianto.

Nel funzionamento per il riscaldamento degli edifici, la pompa estrae calore da una sorgente a media temperatura (tipicamente l'aria esterna o il terreno) e aumenta la sua temperatura per renderla sufficiente per il riscaldamento degli ambienti interni. (Kreider 2001, p.218)

La pompa di calore usa energia elettrica, che ancora oggi viene prodotta principalmente bruciando combustibili fossili. Grazie all'elevata efficienza dei modelli attualmente in commercio, usare la pompa di calore comporta comunque un consumo di energia primaria minore rispetto alla caldaia a gas, a parità di calore fornito.

Questo risparmio energetico non sempre si traduce in un risparmio economico, infatti l'adozione delle pompe di calore è ostacolata da loro elevato consumo elettrico. Per una famiglia questo può aumentare molto i costi della bolletta della corrente, perché le tariffe non sono sempre pensate per l'uso di pompe di calore. Questo porta molte persone a preferire le stufe a biomassa o le caldaie a gas perché i costi di operazione (principalmente del combustibile) sono minori.

La pompa di calore costituisce una delle applicazioni più efficaci per conseguire dei reali risparmi energetici, limitare l'inquinamento atmosferico e contenere i costi dell'energia necessaria per la climatizzazione degli ambienti.

Esistono essenzialmente due tipi di pompa di calore: quella a compressione e quella ad assorbimento. La pompa di calore a compressione usa energia elettrica. È la tipologia più diffusa. La pompa di calore ad assorbimento può fornire l'effetto frigorifero usando calore. Trova applicazione nel solar cooling, ma non è ancora una tecnologia molto diffusa nei contesti residenziali. (Rossi 2013, p.1034,1035)

2.3 Zero energy buildings

I nearly zero energy buildings (NZEB) sono edifici costruiti per minimizzare il consumo di energia primaria, garantendo comunque un buon livello di comfort agli abitanti. Si ottiene questo risultato producendo da fonti rinnovabili quasi tutta l'energia che viene consumata dall'edificio. Si usano pannelli fotovoltaici scambiando energia elettrica con la rete, ma gli edifici sono progettati per non avere un bilancio dei consumi elettrici negativo. L'impianto di illuminazione e quello di riscaldamento domestico vengono progettati con il massimo dell'efficienza per ridurre l'energia necessaria per il loro funzionamento. [W.31]

Oltre all'energia solare, gli edifici possono sfruttare anche l'energia eolica e l'energia geotermica a bassa profondità (con opportune pompe di calore) per la produzione di energia elettrica e calore. Per ridurre le dispersioni, l'isolamento termico delle pareti esterne non può essere trascurato. Durante la progettazione si interviene per eliminare i ponti termici verso l'esterno.

Nella progettazione degli zero energy buildings si presta particolare attenzione anche alla fisica degli edifici, una disciplina che considera il trasferimento di calore, i flussi di acqua e vapore, l'acustica, la psicrometria, l'illuminazione, lo sviluppo del fuoco e la protezione dell'edificio dagli incendi. (Medved et al. 2019, p.59)

L'unione europea ha prodotto regolamenti nell'ambito delle case passive. La direttiva più importante è la Energy Performance of Buildings (EPBD), che include requisiti e definizioni per i nearly Zero Energy Buildings. (Medved et al. 2019, p.6)

La quota maggiore di energia consumata da un'abitazione è usata nel riscaldamento degli ambienti. Questo consumo ha un ruolo importante nel definire la classe energetica dell'edificio. (Medved et al. 2019, p.191)

Negli ZEB, il consumo di energia per produrre acqua calda sanitaria può superare il consumo per il riscaldamento dell'edificio. Dato che l'ACS è richiesta tutto l'anno, questa quota di energia può essere coperta da fonti rinnovabili, tipicamente pannelli solari. L'ACS è acqua potabile, quindi il suo consumo va ridotto per evitare sprechi e diminuire la quantità di acqua riversata nelle fogne. La domanda di acqua calda dipende dall'uso per cui è progettato l'edificio e dallo stile di vita degli abitanti. (Medved et al. 2019, p.270)

2.4 Teleriscaldamento

Nel teleriscaldamento, l'edificio è l'utenza di una rete che distribuisce calore attraverso un fluido termovettore, tipicamente acqua calda. Questo sistema è basato su un'infrastruttura con un generatore centrale di grande taglia e dei tubi di distribuzione. (Medved et al. 2019, p.158)

Assumendo che il fluido termovettore venga scaldato in un impianto centrale di conversione energetica, la trasmissione si può realizzare pompandolo attraverso un condotto verso i centri di carico, ovvero gli edifici da scaldare. (Sorensen 2011, p. 534)

Gli edifici sono connessi alla rete tramite scambiatori di calore. Allacciarsi ad una rete di teleriscaldamento permette all'edificio di scaldarsi installando solo uno scambiatore di calore, che è più piccolo di una caldaia. Questo serve a separare l'impianto dell'edificio dalla rete, mitigando gli effetti di una fuoriuscita del fluido termovettore dall'impianto. Siccome il calore non deriva da una combustione all'interno dell'edificio non si rischiano fughe di gas o avvelenamento da monossido di carbonio.

Complessivamente, centralizzare la produzione del calore in un impianto di grande taglia permette di aumentare il rendimento di conversione dell'energia, comprare il combustibile in grandi quantità (quindi a prezzo minore) e installare impianti di trattamento fumi che costano meno e riducono la quantità di agenti inquinanti emessi in atmosfera. Il teleriscaldamento favorisce l'adozione della cogenerazione: un impianto per la produzione di energia elettrica può vendere il calore di scarto invece di disperderlo in ambiente.

Tuttavia l'elevato costo delle tubazioni per la distribuzione rende il teleriscaldamento economicamente fattibile solo in contesti con un'alta densità di edifici. Per ridurre gli sprechi si deve usare solo calore di scarto proveniente da processi industriali o di produzione elettrica. Per la combustione dovrebbe essere usata preferibilmente biomassa e non combustibile fossile. (Medved et al. 2019, p.158-159)

È preferibile la biomassa prodotta localmente e convertibile in biocombustibili di qualità come il syngas o il biogas.

Un'altra forma di cogenerazione basata su fonte rinnovabile degna di nota è la centrale ad energia geotermica di Larderello, in Toscana, che produce energia elettrica e distribuisce calore agli edifici della zona.

CONCLUSIONI

1 Vantaggi e svantaggi

Questa relazione ha esposto i vantaggi e i punti deboli delle caldaie a gas per il riscaldamento degli edifici e la produzione di acqua calda sanitaria, proponendo soluzioni sotto forma di tecnologie alternative e interventi poco invasivi per il miglioramento dell'efficienza energetica in impianti esistenti.

La ricerca tecnica è orientata verso l'uso efficiente dell'energia rinnovabile. Privilegia quindi le tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare, geotermica e da biomasse. Conoscere il funzionamento e le caratteristiche delle caldaie a gas permette di intervenire in milioni di edifici già costruiti per ottenere grandi risparmi energetici ed economici. Questa tecnologia è ancora oggi molto diffusa e conosciuta, al punto che molte famiglie non considerano nemmeno l'idea di impiegare fonti rinnovabili nel riscaldamento dell'edificio, ma si limitano a sostituire la caldaia con un modello più recente quando è necessario farlo. Di fronte a contesti simili si può ancora lavorare per ottimizzare l'uso dell'energia primaria e ridurre le emissioni di gas inquinanti se si studia l'impianto e si propongono interventi poco invasivi, quindi più facili da accettare per il cliente.

Installare la caldaia è una scelta economicamente conveniente grazie alla maturità della tecnologia, alla produzione di massa di modelli a basso costo e alla forte competizione del mercato internazionale. Il ruolo positivo degli incentivi è di indirizzare l'acquisto verso modelli che consumano (e inquinano) meno, mentre gli obblighi di legge escludono dal mercato le tecnologie più dannose.

L'ampia disponibilità di modelli diversi e il sistema normativo sempre più complesso creano un settore difficile da navigare. È importante studiare le tecnologie che usano in modo efficiente l'energia rinnovabile, ma bisogna affiancare a questa conoscenza anche l'esperienza offerta dal settore delle caldaie a gas.

Ad esempio, le nuove tecnologie dovranno competere in un regime di libero mercato contro le caldaie, che sono ancora oggi più diffuse e conosciute. Sapere i limiti e i vantaggi delle caldaie a gas offre un'immagine completa del problema da risolvere e permette di fare paragoni onesti ed efficaci, quindi scelte migliori.

Tuttavia bisogna ricordare che, a lungo termine, queste scelte porteranno a sostituire le caldaie a gas con macchine che non useranno l'energia da fonte fossile. Un motivo ovvio è che i giacimenti di gas naturale sono limitati e il consumo di metano sta aumentando in modo esponenziale. Inoltre, sebbene il gas naturale presenti meno emissioni nocive rispetto all'olio combustibile e al carbone, resta comunque una minaccia per la qualità dell'aria anche solo per l'abbondante uso che se ne fa a livello mondiale. Ridurre i consumi di metano è fondamentale e lo si può fare rimpiazzando le caldaie a gas e producendo energia elettrica da fonti rinnovabili. Un altro motivo per cercare soluzioni alternative è legato al comfort: una caldaia non può raffreddare e dev'essere affiancata da un impianto separato per garantire il comfort d'estate. Integrare le due funzioni in un'unica macchina aprirebbe nuove frontiere nell'ottimizzazione dell'impianto.

Sostituire la caldaia con una soluzione che non usa la combustione potrebbe rendere più sicuro l'edificio, ridurre lo sforzo termico sui materiali della macchina e allungare la sua vita utile.

In conclusione, le caldaie a gas a condensazione sono ancora un'ottima tecnologia di transizione, in particolare negli edifici più vecchi e più difficili da adattare alle nuove

tecnologie di riscaldamento, ma presentano dei limiti incorreggibili e, a lungo termine, dovranno essere sostituite da macchine diverse.

2 Stato della ricerca e sviluppi futuri

La caldaia a gas a condensazione è una tecnologia matura. I rendimenti massimi dei modelli attualmente in commercio si avvicinano ai limiti che è fisicamente possibile ottenere. La ricerca delle aziende è volta principalmente a minimizzare il costo di produzione e rendere la caldaia più economica ed accessibile, sempre rispettando i requisiti minimi di efficienza energetica imposti dalle normative vigenti.

L'interesse e la ricerca tecnica sono volti principalmente alle tecnologie di riscaldamento degli edifici che usano fonti rinnovabili, come i pannelli solari, le pompe di calore e le reti di teleriscaldamento. Queste tecnologie si sono diffuse nei recenti anni per merito delle iniziative che incentivano l'uso di energia rinnovabile e grazie ai programmi di ricerca e sviluppo.

Una frontiera che si sta iniziando ad esplorare consiste nell'usare la conversione elettrochimica per soddisfare il fabbisogno energetico degli edifici.

La conversione elettrochimica è la conversione dell'energia chimica di un vettore energetico direttamente in energia elettrica. Le celle a combustibile operano la conversione elettrochimica dell'idrogeno cogenerando energia elettrica e calore.

Esistono diversi tipi di celle a combustibile che presentano caratteristiche costruttive diverse. Le macchine di piccola taglia possono essere usate per la micro-cogenerazione in ambito residenziale, azzerando le emissioni di gas inquinanti. Tuttavia l'idrogeno è un vettore, non una fonte, e perché questa tecnologia sia ecosostenibile dev'essere prodotto usando energia rinnovabile. (Medved et al. 2019, p.187)

L'idrogeno può anche essere usato per sostituire il metano come combustibile nelle caldaie. L'azienda veneta Baxi sta sviluppando il progetto di una caldaia ad idrogeno.

Esistono molte altre idee degne di essere approfondite, ma in linea generale gli investimenti pubblici e privati si stanno concentrando sui pannelli solari e sulle pompe di calore. Sempre più edifici soddisfano il loro bisogno di calore usando queste tecnologie, e di conseguenza molte aziende hanno iniziato a concentrare i loro sforzi di ricerca e produzione su queste tipologie di macchine.

Gli scenari dell'International Energy Agency, che guidano le politiche energetiche dei paesi OCSE, prevedono che gli obiettivi dell'accordo di Parigi sul contenimento del riscaldamento globale si potranno realizzare solo con dei grandi cambiamenti al modo in cui usiamo l'energia. L'elettrificazione del riscaldamento degli edifici è uno degli obiettivi delle strategie energetiche dei governi per ridurre la dipendenza da fonti fossili. L'energia elettrica verrà ovviamente prodotta da fonti rinnovabili, e in Italia l'abbandono dei combustibili fossili per la produzione elettrica è già in atto. Questi sono piani a lungo termine e gli stessi scenari dell'Energy Technology Perspectives dell'IEA assumono che continueremo ad usare combustibili fossili fino al 2100, anche se costituiranno una quota sempre più piccola nei consumi di energia primaria.

In conclusione, è evidente che le caldaie a gas a condensazione sono un ottimo sostituto per i generatori di calore tradizionali a bassa efficienza energetica, ma è anche vero che esistono tecnologie alternative che inquinano meno e che, con il passare del tempo, si affermeranno sempre di più nel mercato, tracciando un percorso di sviluppo volto a favorire il consumo razionale e sostenibile dell'energia anche in ambito domestico.

Il settore della produzione di energia elettrica ha già intrapreso la strada della sostenibilità, quindi è fondamentale che anche negli edifici si riducano gli sprechi di energia, valorizzando il grande potenziale di risparmio che ancora non è stato sfruttato. Studiare le caldaie a condensazione è una fase fondamentale di questo progetto perché permette a chi lavora nel settore del riscaldamento degli edifici di proporre alle famiglie interventi e prodotti alternativi a costi competitivi. Queste sono azioni concrete per accelerare la transizione verso un futuro più sostenibile.

Bibliografia

- Brumbaugh, J. (2002). *Audel HVAC Fundamentals Heating Systems, Furnaces and Boilers Volume 1*. Indianapolis: Wiley Publishing.
- Brumbaugh, J. (2004). *Audel HVAC Fundamentals Volume 3 Air-Conditioning, Heat Pumps, and Distribution Systems*. Indianapolis: Wiley Publishing.
- Brumbaugh, J. (2008). *Audel HVAC Fundamentals Volume 2 Heating System Components, Gas and Oil Burners, and Automatic Controls*. Indianapolis: Wiley Publishing.
- Buderus. (2014). *Documentazione tecnica di progetto Logano plus SB325, SB625, SB745*.
- Caleffi. (2018, Giugno). La separazione delle impurità negli impianti di climatizzazione. *Idraulica*.
- D.P.R. n° 74 / 2013. (2013).
- Depur Sistem Italia. (2015). *manuale d'installazione uso e manutenzione addolcitori d'acqua serie dolce acqua eco*.
- Direttiva 2009/28/CE. (2009).
- Direttiva 92/42/CEE. (1992).
- ENEA. (2015). *Impatti energetici e ambientali dei combustibili nel settore residenziale*.
- Fanchi, J. (2004). *Energy technology and directions for the future*. Burlington: Elsevier.
- FAQ Insiel - Attestato di prestazione energetica degli edifici, efficienza energetica degli edifici. (2016, Febbraio 16). Tratto da insiel.it: https://www.insiel.it/export/sites/insiel/soluzioni-e-servizi/documenti/FAQ_16-febbraio-2016.pdf
- Grimm, N., & Rosaler, R. (1998). *HVAC systems and components handbook, second edition*. New York: McGraw-Hill.
- Karellas, S., Roumpedakis, T., Tzouganatos, N., & Braimakis, K. (2019). *solar cooling technologies*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Kreider, J. (2001). *Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Legambiente. (23 gennaio 2020). *Dossier Mal'Aria di città*.
- Medved, S., Domjan, S., & Arkar, C. (2019). *Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings*. Ljubljana: Springer.
- Norma UNI 7129:2015. (2015).
- Numeri d'energia. (2019, novembre-dicembre). *QualEnergia*, p. 63.
- Pita, E. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems An Energy Approach*. New York: Prentice-Hall.
- Rossi, N. (2013). *Manuale del termotecnico, terza edizione*. Milano: Hoepli.
- Seitron. (2019). *Manuale Chemist 600 BE GREEN*.
- Sorensen, B. (2011). *Renewable energy, fourth edition*. Burlington: Elsevier.
- Thornley, P., & Adams, P. (2018). *Greenhouse gas balances of bioenergy systems*. San Diego: Elsevier.

World Energy Council. (2015). *Special report on energy and climate change*.

Riferimenti a siti internet

- [W.1] <https://www.qualenergia.it/articoli/20130304-il-mercato-delle-caldaie-condensazione-italia/>
- [W.2] https://www.expoclima.net/special/55/industria_del_riscaldamento_in_italia_storia_tradizione_innovazione/tecnologie_del_riscaldamento_storia.htm
- [W.3] <https://enigaseluce.com/energie-intelligenti/riscaldamento-e-clima/caldaie-a-basamento>
- [W.4] <https://residenziale.viessmannitalia.it/caldaia-con-accumulo-o-caldaia-istantanea-i-pro-e-contro>
- [W.5] <http://www.consulente-energia.com/ar-meglio-una-caldaia-con-accumulo-o-istantanea-differenze-fra-caldaie-a-gas-a-produzione-istantanea-di-acqua-calda-e-quelle-con-serbatoio-di-accumulo.html>
- [W.6] <https://assistenza-caldaieroma.it/scheda-gestione-caldaia/>
- [W.7] <https://www.assistem.it/durata-di-una-caldaia-a-gas.html>
- [W.8] <https://www.ideegreen.it/come-funziona-una-caldaia-condensazione-46199.html>
- [W.9] <https://www.ideegreen.it/caldaie-a-condensazione-36036.html>
- [W.10] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819318845>
- [W.11] <https://residenziale.viessmannitalia.it/addolcitore-acqua-perche-installarlo-in-casa>
- [W.12] <https://www.jstor.org/stable/41269841>
- [W.13] <https://catasto-impianti-termici.regione.veneto.it/>
- [W.14] <https://catasto-impianti-termici.regione.veneto.it/faq.php>
- [W.15] <https://catasto-impianti-termici.regione.veneto.it/stats.php>
- [W.16] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510003009>
- [W.17] <https://www.snam.it/it/gas-naturale/>
- [W.18] <https://www.snam.it/it/gas-naturale/energia-verde/biometano/>
- [W.19] <https://codacons.it/truffa-del-tubo-tucker-piacentini-risarciti/>
- [W.20] <https://www.legambiente.it/malaria-di-citta/>
- [W.21] <https://www.legambiente.it/emergenza-smog-i-nuovi-dati-di-malaria-il-report-di-legambiente-sull'inquinamento-atmosferico-in-citta/>
- [W.22] <https://www.oeko.de/en/>
- [W.23] <https://st.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2016-06-14/smog-lombardia-stufe-pellet-prima-causa-pm10-120910.shtml>
- [W.24] <https://www.qualenergia.it/articoli/caldaie-a-condensazione-come-funziona-la-detrazione-2019/>
- [W.25] <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/superbonus-110%25>
- [W.26] <https://www.vaillant.it/home/incentivi-fiscali/conto-termico/>
- [W.27] <https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/conto-termico>
- [W.28] <https://www.qualenergia.it/articoli/speciali-20111019-stufe-e-caldaie-pellet-ad-uso-domestico/>
- [W.29] <https://www.ebay.it/>
- [W.30] <https://www.qualenergia.it/articoli/20141116-solare-termico-e-caldaia-gas-costi-e-risparmi/>
- [W.31] <https://www.qualenergia.it/articoli/sei-casali-nearly-zero-energy-building-nel-cuore-di-matera/>
- [W.32] <https://www.britannica.com/technology/hypocaust>