

# *1. La problematica energetica e l'inquinamento ambientale: il settore residenziale*

## *1.1 Introduzione*

Le questioni dell'energia e dell'ambiente, e quelle del cambiamento climatico, hanno acquisito ulteriore rilievo nel quadro della situazione globale. La constatazione che l'attuale strada intrapresa dallo sviluppo mondiale sia inscindibile dall'utilizzo delle risorse energetiche naturali, rende in un certo senso pressante l'attenzione ai vincoli legati all'uso delle ultime. Il consumo di risorse energetiche ed il conseguente impatto ambientale si accompagna infatti agli interrogativi sulle azioni più opportune che dovrebbero essere intraprese per mitigare gli effetti dell'impatto stesso ed avviare un percorso per il superamento di tale problematica.

Le tecnologie dell'energia sono oggi, a questo riguardo, un punto di riferimento in un mondo in cui l'innovazione ha un ruolo sempre maggiore nella creazione di benessere. La sostenibilità dello sviluppo si pone come risultato di associare l'obiettivo della crescita all'esigenza della salvaguardia del pianeta.

In Italia<sup>1</sup>, le proiezioni sui consumi energetici e le relative emissioni inquinanti confermano la centralità di un'accelerazione tecnologica, senza la quale è di fatto impossibile raggiungere concreti risultati in materia di contenimento delle emissioni. Va ricordato che l'efficienza energetica può essere raggiunta con le tecnologie disponibili oggi. Essa è inoltre decisiva non solo per il controllo delle emissioni ma anche per ridurre i costi ed aumentare la competitività industriale.

---

<sup>1</sup> Enea, Rapporto Energia e Ambiente 2008.

Gruppi di tecnologie	Contributo alla riduzione di CO <sub>2</sub> (%)		Costo di mitigazione (€/ton)	
	2020	2030-2040	2020	2040
<b>Usi finali dell'energia</b>				
Efficienza energetica edifici (residenziale e terziario)	>20%	>15%	<0	<0
Efficienza energetica nell'industria	>10%	<5%	<0	<0
Efficienza del parco veicoli e cambiamento modale nel trasporto passeggeri e merci	<20%	>10%	<0	<0
Biocombustibili	<10%	≈10%	≈100	≈100
Solare termico e altre rinnovabili per usi termici	≈5%	≈5%	<100	<0
<b>Settore energetico</b>				
Incremento efficienza del parco termoelettrico	≈10%	≈10%	0-20	≈100
Generazione da fossili con cattura e confinamento della CO <sub>2</sub>	0%-2%	>10%	≈50	≈50
Nucleare di III generazione	0%-7%	>10%	≈50	≈0
Solare fotovoltaico e termodinamico	<5%	<10%	>100	50-100
Altra generazione elettrica da rinnovabili	<10%	<10%	50-100	50-100
<b>Riduzione totale della CO<sub>2</sub></b>	<b>80-100 Mt</b>	<b>200-250 Mt</b>		

Tabella 1. Tecnologie – chiave nel sistema energetico italiano, (ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2008).

Nella tabella 1 sono riportati i risultati di alcuni scenari relative al sistema energetico italiano elaborati da ENEA; tali risultati sono sintetizzati concentrando l'attenzione sui dieci principali gruppi di opzioni tecnologiche in termini di potenziale importanza. Viene mostrato in primo luogo come sia "robusta" la conclusione che all'orizzonte 2020 la gran parte del contributo alla riduzione delle emissioni debba venire da tutti i settori di uso finale dell'energia, in particolare mediante l'accelerazione della penetrazione delle tecnologie più efficienti.

Tra le diverse opzioni il potenziale maggiore si ha nel settore residenziale; l'effettiva realizzazione di questo potenziale è legato però alla difficile concordanza di molti decisori diversi, le cui resistenze al cambiamento tecnologico sono più difficili da superare rispetto a quelle che si possono riscontrare in un numero limitato di pochi grandi singoli "emettitori" (come nel caso delle grandi imprese).

La definizione delle misure considerate negli scenari ENEA di accelerazione tecnologica è avvenuta nell'ambito di un gruppo di lavoro composto da ricercatori dell'ENEA e di ERSE (ex CESI-RICERCA), in collaborazione con la task-force sull'efficienza energetica istituita dal Ministero dello Sviluppo Economico che si è occupata della preparazione del Piano d'azione dell'Efficienza Energetica Italiano.

Tale piano, presentato a settembre 2007, descrive gli orientamenti che il Governo Italiano ha ritenuto opportuno proseguire per il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica e dei servizi energetici per centrare l'obiettivo previsto dalla direttiva<sup>2</sup>: 9,6% di risparmio energetico entro il 2016. Nel marzo del 2007 però, il Consiglio europeo ha approvato la "politica 20-20-20" che spinge ad affermare la necessità di giungere al 2020<sup>3</sup> con nuovi obiettivi.

È stata individuata una serie di misure di efficienza energetica che, mediante interventi nei settori Residenziale, Terziario, Industriale e dei Trasporti, permette di raggiungere e superare l'obiettivo assegnato di 118.500 GWh/anno nel 2016.

Concentrandosi sui consumi energetici e il relativo problema delle emissioni nel settore residenziale, ci soffermiamo su come il piano di efficienza energetica affronti tale aspetto.

Il 2005 ha fatto registrare un aumento dei consumi del settore residenziale del 16% circa rispetto al 2000, attestandosi intorno ad un valore di quasi 31 Mtep<sup>4</sup>. Tale incremento, a livello di singole fonti energetiche, si sono tradotte sostanzialmente in un aumento del consumo di gas naturale e di energia elettrica, rispettivamente del 29% e del 20%, mentre è continuato a diminuire il consumo degli altri idrocarburi, che fanno segnare dal 2000 una riduzione rispettivamente pari all' 87% (carbone), 37% (olio combustibile), 16% (gasolio).

In termini di funzione d'uso la domanda energetica del settore residenziale, è dovuta per quasi il 70 % dal riscaldamento, per il 15% da usi elettrici obbligati, per il 10% dalla produzione di acqua calda e per il rimanente 5% dagli usi cucina. Le misure di miglioramento dell'efficienza energetica proposte nel Piano assommano a 56.830 GWh/anno di risparmio al 2016, pari al 45% dell'obiettivo complessivo<sup>5</sup>.

Le misure di miglioramento dell'efficienza energetica proposte nel Piano (ed estese al 2020) per tale settore residenziale, si riferiscono a due categorie di intervento, riguardanti gli edifici e gli apparecchi.

Nel primo caso, le misure individuate (isolamento di pareti trasparenti e opache, impianti di riscaldamento e condizionamento efficienti) rispondono alle aspettative introdotte dalla certificazione energetica degli edifici

---

<sup>2</sup> In Italia, il Piano d'azione per l'efficienza energetica PAEE, è stato trasmesso dal Ministro dello Sviluppo Economico alla Commissione Europea nel luglio 2007, in attuazione dell'articolo 14 della direttiva 2006/32/CE. Tale Direttiva Comunitaria concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici prevede infatti che ciascun paese membro predisponga il Piano d'azione nazionale in materia di efficienza energetica.

<sup>3</sup> Politica del "20-20-20": riduzione del 20% delle emissioni di gas ad effetto serra rispetto ai livelli del 2005, risparmio del 20% dei consumi energetici rispetto alle proiezioni per il 2020, obiettivo vincolante del 20% di energia da fonti rinnovabili sul totale dei consumi energetici dell'Unione, obiettivo vincolante del 10% di biocarburanti sul totale dei consumi di benzina e gasolio per autotrazione dell'Unione.

<sup>4</sup> 1 Mtep = 11.628 miliardi di kWh termici, ovvero 4.55 miliardi di kWh elettrici.

<sup>5</sup> ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2008.

con la Direttiva 2002/91/CE (EPBD) e recepita in Italia con il D.Lgs. 192 del 2005 e dal seguente Decreto legislativo correttivo del 29 dicembre 2006, n. 311.

Nel secondo caso, le misure (elettrodomestici e sorgenti luminose più efficienti) traggono spunto dal vigente quadro legislativo europeo e nazionale in materia di etichettatura energetica, regolamentato dalla Direttiva 92/75/CEE, che stabilisce i criteri per l'indicazione del consumo di energia, e dalla successiva Direttiva 2005/32/CE (Energy Using Products - EUP)<sup>6</sup> che riguarda l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia.

Il passaggio dal 2016 al 2020 implica, per quanto attiene gli edifici, la prosecuzione delle misure già previste per il miglioramento della coibentazione delle pareti, a cui si aggiunge un ulteriore aumento delle efficienze medie degli impianti di riscaldamento. Risparmi importanti sono anche attesi sul fronte dei principali elettrodomestici, per i quali ci si aspetta un'accelerazione nel miglioramento delle prestazioni medie, dovuto alla rapida diffusione di apparecchi di nuova generazione a consumi ridotti.

Nella tabella 2 relativa al settore del riscaldamento sono sinteticamente riportate tutte le misure proposte e le corrispondenti valutazioni in termini di riduzione dei consumi al 2016 e al 2020.

Ne emerge che per quanto riguarda il consumo di energia proveniente da fonti non rinnovabili sono attesi per il 2016 risparmi di 40.480 GWh/anno e per il 2020 62.960 GWh/anno. Sono stati ipotizzati interventi che riguardano l'involucro edilizio (isolamento pareti e sostituzione infissi, installazioni di elementi schermati), gli impianti di produzione di calore e di condizionamento (sostituzione con impianti di ultima generazione), il ricorso a fonti rinnovabili (attraverso dispositivi sia attivi che passivi), dispositivi per una gestione efficiente dei servizi di climatizzazione e illuminazione modulabili in funzione della domanda.

	<b>Risparmi al 2016 [GWh/a]</b>	<b>Risparmi al 2020 [GWh/a]</b>	<b>Azioni aggiuntive rispetto al PAEE 2016</b>
<b>ENERGIA ELETTRICA</b>			
<b>Residenziale</b>	12,870	30,844	Adozione di frigoriferi e congelatori efficienti (A+ e A++). Dal 2017 sono installati solo apparecchi A++ (consumi ridotti del 30% ca.). Adozione di lavastoviglie in classe superiore alla A. Dal 2017 sono installati solo apparecchi con consumo ridotto del 15% adozione di lavabiancheria in classe A+. Entro il 2020, 4 CFL per abitazione (una in più rispetto alle 3 previste al 2016). Eliminazione scaldacqua standard: dal 2017 il 70% degli scaldacqua HE a fine vita è sostituito con apparecchi solari o a PdC. Aumento delle efficienze degli impianti di condizionamento autonomi (EER>3,3) e maggiore incidenza degli impianti centralizzati. Riduzione a max 1W di: 50 M.ni di TV e di Decoder, 25 M.ni di HiFi e di Lettori DVD

<sup>6</sup> È una Direttiva Quadro. Questo significa che i singoli prodotti sono inquadrati in Direttive specifiche di gruppi di prodotti affini o che trattano aspetti tecnici particolari. Ha quindi bisogno di norme applicative.



---

**ALTRE FONTI**

---

<b>Residenziale</b>	40,480	62,960	Si ipotizza di agire in occasione di un intervento di manutenzione sulle pareti esterne, che avviene in media ogni 30 anni. Nel 65% dei casi viene attuato l'intervento di sostituzione vetri. Efficientamento dei sistemi di riscaldamento facendo ricorso alle migliori tecnologie disponibili sul mercato (caldaie a condensazione, impianti a pompa di calore con tecnologia a compressione o ad assorbimento, impianti cogenerativi ad alto rendimento, impianti ad integrazione di energia solare). Maggiore incidenza degli impianti centralizzati
---------------------	--------	--------	---

---

*Tabella 2. Sintesi del Piano di Azione per l'Efficienza Energetica, (MSE in collaborazione con ENEA, dati al 2020 preliminari).*

Secondo gli scenari Enea al 2020 gli interventi per il miglioramento dell'efficienza energetica negli usi finali dell'energia possono dare un contributo alla mitigazione dei gas serra di oltre il 45%, superiore a quanto previsto con il ricorso alle tecnologie per l'uso delle fonti rinnovabili (22,4%), e alle tecnologie di generazione a bassa emissione di carbonio, in Italia ancora lontane dal mercato, che contribuiscono complessivamente per meno del 10% sul totale.

L' esame e la valutazione dei molteplici aspetti connessi all'inquinamento dovuto al riscaldamento civile è dunque oggetto di ricerca molto importante.

In tale elaborato di tesi, l'obbiettivo è quello di valutare il comportamento del parco edifici residenziali nazionale ai fini dell'inquinamento ambientale.

La ricerca ha ritenuto importante soffermarsi sull' impatto provocato dagli ossidi di azoto. Essi, nella loro forma di biossido di azoto, svolgono un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico costituendo l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono ed altri. La loro tossicità risulta notevole per gli esseri viventi e causa di ossidazione di alcuni materiali. Il colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città è dovuto per l'appunto al biossido di azoto che è infatti precursore di inquinamento locale.

La ricerca, finalizzata ad inquadrare il rapporto che intercorre tra combustione, generatori di calore, edifici ed impatto ambientale, si è concentrata sulla ricostruzione della storia del parco impiantistico residenziale nazionale analizzando il periodo di tempo compreso tra il 1999 e il 2008.

Anno per anno è stato individuato il totale di impianti installati sul suolo nazionale differenziando le tipologie dei generatori presenti cioè quelli tradizionali, quelli a condensazione e quelli dotati di altre tecnologie efficienti (a temperatura scorrevole e a bassa temperatura). Analogamente si è proceduto a differenziare le loro potenze termiche.

È stato inoltre monitorato il tasso di rinnovamento annuale degli impianti installati, individuando il numero di quelli da sostituire e di quelli da installare in nuove abitazioni costruite.

Tale lavoro è stata utile per capire che effetto ha avuto sulle emissioni inquinanti prodotte annualmente, l'ingresso nel mercato nazionale delle tecnologie impiantistiche ad alta efficienza. L'analisi è stata condotta a scala comunale e a scala nazionale, al Nord, al Centro e al Sud della penisola.

## ***1.2 Strumenti normativi Comunitari e Nazionali per la regolazione del risparmio energetico degli edifici***

La necessità di regolare i flussi di energia che passano attraverso l'involucro edilizio ha influenzato la stesura delle normative in materia di risparmio energetico, sia di matrice internazionale che di matrice nazionale. Alla luce della necessità di ridurre i carichi energetici dell'edificio è stato indispensabile individuare buone pratiche del progettare finalizzate all'implementazione delle caratteristiche tecnologiche dell'involucro edilizio e degli impianti di climatizzazione.

La direttiva europea 2002/91/CE (Energy Performance of Buildings) sul rendimento energetico nell'edilizia in particolare ha dato impulso a un rinnovamento legislativo, che in Italia ha prodotto, a livello nazionale, il Decreto 19 agosto 2005 n.192 (ora corretto e integrato dal Decreto 29 dicembre 2006, n.311) e una nuova serie di regolamenti improntati alla riduzione dei consumi ed alla certificazione energetica.

Al fine di inquadrare giuridicamente l'ambito del risparmio energetico in edilizia, qui sotto è riportato il percorso completo di tutta la legislazione pertinente a tale materia.

La **Legge n. 10 del 1991** è una legge della Repubblica Italiana. Si intitola "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*".

Nasce con l'intento di razionalizzare l'uso dell'energia per il riscaldamento; nonostante già negli anni ottanta ci fossero linee di pensiero che convergevano verso questa direzione, questa è la prima legge che mette una pietra miliare su quella che sarà in futuro tutta la politica del risparmio energetico.

Questa legge si propone di regolamentare il settore termotecnico.

Nella legge 9 gennaio 1991 n.10, si legge che, al fine del contenimento dei consumi di energia, dovranno essere definite le zone climatiche italiane in modo da poter stabilire la durata giornaliera di attivazione ed i periodi di accensione degli impianti termici.

In seguito alla Legge n. 10/1991, è stato emanato il **DPR n. 412 del 1993** recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10.

In tale DPR appare l'individuazione della zona climatica e dei gradi-giorno dicendo che il territorio nazionale è suddiviso in sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dall'ubicazione geografica. L'Italia è stata divisa per aree geografiche, in zone climatiche classificandole con periodi precisi di esercizio (A, B, C, D, E, F): La suddivisione delle zone climatiche è fatta in funzione dei gradi giorno (GG)<sup>7</sup> della località.

---

<sup>7</sup> I **Gradi Giorno** (GG), oppure HGT (dal tedesco HeizGradTage) in [Kd/a] (Kelvin \* day / anno) sono un'unità di misura atta ad indicare il fabbisogno termico. con questa unità di misura si indica il fabbisogno termico di una determinata area geografica relativa alle vigenti normative sul riscaldamento/raffreddamento delle abitazioni. Il valore numerico rappresenta la somma, estesa a tutti i

È stata fatta una classificazione generale degli edifici per categorie dove gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso. Vengono segnalati i valori massimi della temperatura ambiente, i requisiti e dimensionamento degli impianti termici per cui gli impianti termici di nuova installazione nonché quelli sottoposti a ristrutturazione devono essere dimensionati in modo da assicurare il valore massimo della temperatura interna e un "rendimento globale medio stagionale"<sup>8</sup>. Viene stabilito inoltre che gli impianti termici di nuova installazione e nei casi di ristrutturazione di tali apparecchi debbano essere provvisti di sistema di termoregolazione e contabilizzazione. Sono stati fissati i valori limite del fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale, i limiti di esercizio degli impianti termici e l'esercizio e manutenzione degli impianti termici e controlli relativi.

Con la **Direttiva 2002/91/CE (EPBD)** del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia viene prescritto ai Paesi membri l'adozione di metodologie per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici e la certificazione energetica, peraltro già prevista dall'articolo 30 della legge 9 gennaio 1991, n. 10.

Con tale Direttiva sul rendimento energetico<sup>9</sup> nell'edilizia, gli Stati membri devono far rispettare requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici di nuova costruzione e per quelli già esistenti<sup>10</sup>, provvedere alla certificazione del rendimento energetico e imporre il controllo periodico delle caldaie e degli impianti di condizionamento.

I tre "pilastri" della direttiva sono:

- Metodologia per il calcolo del rendimento energetico degli edifici;
- Certificazione energetica degli edifici;
- Ispezione periodica degli impianti.

---

giorni di un periodo annuale convenzionale, delle sole differenze positive (o negative) giornaliere tra la temperatura convenzionale, fissata in Italia a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera. Un valore di Gradi Giorno basso indica un breve periodo di riscaldamento/raffreddamento e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente. Al contrario, valori di Gradi Giorno elevati, indicano periodi di riscaldamento/raffreddamento prolungati e temperature medie giornaliere nettamente inferiori/superiori rispetto alla temperatura convenzionale di riferimento.

<sup>8</sup> Il "rendimento globale medio stagionale" dell'impianto termico è definito come rapporto tra i fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche.

<sup>9</sup> Rendimento energetico: "la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, fra gli altri, il riscaldamento e il raffreddamento".

<sup>10</sup> Si intende edifici che subiscono ristrutturazioni importanti, se di superficie totale superiore a 1000 m<sup>2</sup>.

Agli stati membri (e/o Regioni e Province autonome) spetta la determinazione e applicazione dei requisiti minimi di rendimento energetico degli edifici (di nuova costruzione ed esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni).

In questo contesto viene a definirsi il Rendimento Energetico o Energy Performance come “la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi il riscaldamento, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione“.

La metodologia di calcolo del rendimento energetico, può essere differenziata a livello regionale (o di province autonome); e deve seguire una impostazione comune in modo da contribuire alla creazione di un contesto omogeneo per le iniziative di risparmio energetico degli Stati membri nel settore edile e altresì in tal modo introdurre un elemento di trasparenza sul mercato immobiliare comunitario.

L'attestato di certificazione energetica viene definito come un documento riconosciuto dallo Stato membro o da una persona giuridica da esso designata, in cui figura il valore risultante dal calcolo del rendimento energetico di un edificio effettuato seguendo una metodologia. Questo deve necessariamente contenere il valore del rendimento energetico risultante dal calcolo; quei valori di riferimento (quali i requisiti minimi di legge e quelli relativi allo stock edilizio) con i quali il consumatore possa effettuare il confronto e le raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici.

Sempre per quanto concerne la definizione delle caratteristiche e delle funzioni attribuite all'attestato di certificazione energetica è da sottolineare come a quest'ultimo siano attribuiti i seguenti obblighi di utilizzo:

- In fase di costruzione/compravendita/locazione deve essere messo a disposizione del proprietario/acquirente/locatario;
- Vale al massimo 10 anni;
- Deve essere esposto al pubblico negli edifici pubblici con superficie superiore ai 1000 m<sup>2</sup>.

La direttiva riguarda il settore residenziale e quello terziario; alcuni edifici sono però esclusi dal campo di applicazione delle disposizioni relative alla certificazione, come gli edifici storici e i siti industriali.

La direttiva non contiene provvedimenti per gli impianti cosiddette “mobili” (come ad esempio gli elettrodomestici).

Al fine di recepire la Direttiva 2002/91/CE (EPBD) relativa al rendimento energetico negli edifici, a livello nazionale è stato emanato il **Decreto Legislativo 192/2005**. Tale decreto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Il presente decreto disciplina in modo particolare:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Tale strumento legislativo definisce i requisiti minimi prestazionali degli edifici e l'obbligatorietà alla certificazione energetica, tuttavia non è uno strumento completo in quanto rimanda a decreti da emanare in tempi successivi.

Ai fini del contenimento dei consumi energetici il presente decreto si applica alla progettazione di nuovi edifici e agli impianti in essi installati, a nuovi impianti in edifici esistenti e alle opere di ristrutturazione di edifici superiori a 1000 metri quadrati.

Si applica poi all'esercizio, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici degli edifici anche preesistenti ed infine alla certificazione degli edifici.

Sono esclusi dall'applicazione nell'ambito della disciplina gli edifici considerati storici e artistici, i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali, i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati e, infine, gli impianti installati ai fini del processo produttivo realizzato nell'edificio, anche se utilizzati, in parte non preponderante, per gli usi tipici del settore civile.

Per quanto concerne la certificazione energetica degli edifici (art.6 del Decreto 192), è detto che entro un anno dalla data di entrata in vigore del presente decreto, gli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti a ristrutturazione superiori a 1000 metri quadrati devono essere dotati al termine della costruzione, a cura del costruttore, di un attestato di certificazione energetica redatto secondo i criteri, requisiti minimi e metodologie di calcolo finalizzati al contenimento dei consumi di energia di cui all'art. 4. L'attestato di certificazione energetica comprende i dati relativi all'efficienza energetica propri dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge e valori di riferimento, che consentono ai cittadini di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'edificio. L'attestato è corredato da suggerimenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione.

Infine è detto che debba essere compilata la documentazione progettuale di cui all'articolo 28, comma 1, della legge 10 del 1991, secondo le modalità stabilite con decreto del Ministero delle attività produttive, di

concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio; il comune di residenza è tenuto poi ad effettuare il controllo di tale documentazione.

Il **D.Lgs. n. 311 del 2006**, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale il 1° febbraio 2007, modifica ed integra il Decreto Legislativo 192/2005, a sua volta attuativo della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico ed al fabbisogno energetico nell'edilizia.

Nemmeno il D.Lgs. 311 riesce a completare gli elementi mancanti. In particolare non definisce le modalità con le quali deve essere applicata la certificazione energetica introducendo una fase transitoria la "qualificazione energetica" fino a quando saranno emanate le Linee guida nazionali.

Con il decreto legislativo n. 311 l'obbligo della certificazione energetica viene esteso gradualmente a tutti gli edifici preesistenti all'entrata in vigore del D.Lgs. 192 (8 ottobre 2005), purché oggetto di compravendita o locazione, al fine di rendere il provvedimento maggiormente aderente alle disposizioni dell'articolo 7 della direttiva 2002/91/CE.

A tal fine il decreto legislativo 311 ha disposto modifiche e integrazioni all'articolo 6 del D.Lgs. 192/05 che prevedeva l'obbligo di certificazione solamente per gli edifici di nuova costruzione (e quelli oggetto di consistenti interventi di ristrutturazione) che dovevano essere dotati, al termine della costruzione e a cura del costruttore, di un attestato di certificazione energetica redatto secondo i criteri indicati dall'articolo 4 dello stesso provvedimento. Tale attestato comprende tra l'altro, i dati relativi all'efficienza energetica propri dell'edificio che consentano ai cittadini di valutarne e confrontarne la prestazione energetica. L'attestato è inoltre corredato da suggerimenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della perfetta prestazione energetica.

Al riguardo, si segnala che l'allegato A definisce l'attestato di qualificazione energetica come il documento predisposto ed asseverato da un professionista abilitato, non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio, nel quale sono riportati i fabbisogni di energia primaria, la classe di appartenenza in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, ed i corrispondenti valori massimi ammissibili fissati dalla legge. Al di fuori di quanto previsto dall'articolo 8, comma 2, del D.Lgs. 192/2005 (come modificato dall'articolo 3 del presente decreto legislativo) l'attestato di qualificazione energetica è facoltativo ed è predisposto a cura dell'interessato al fine di semplificare il successivo rilascio della certificazione energetica. A tal fine, l'attestato comprende anche l'indicazione di possibili interventi migliorativi delle prestazioni energetiche che potrebbero permettere passaggi di classe energetica.

Il Consiglio europeo nella primavera del 2006<sup>11</sup> ha invocato l'adozione urgente di un **Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica, PAEE** (Comunicazione della Commissione, del 19 ottobre 2006, "Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità" COM, 2006 545).

La Commissione ha adottato un piano di azione il cui scopo è giungere ad una riduzione del 20% del consumo di energia entro il 2020<sup>12</sup>.

Il piano di azione prevede misure volte ad accrescere l'efficienza energetica di prodotti, edifici e servizi, a migliorare il rendimento della produzione e della distribuzione di energia, a ridurre l'impatto dei trasporti sul consumo di energia, a favorire il finanziamento e la realizzazione di investimenti nel settore, a promuovere e a rafforzare un comportamento razionale in merito al consumo di energia e a potenziare l'azione internazionale in materia di efficienza energetica.

Il presente piano di azione intende mobilitare la società civile, i responsabili politici e gli operatori del mercato, e trasformare il mercato interno dell'energia, in modo da fornire ai cittadini dell'Unione Europea infrastrutture (compresi gli edifici), prodotti (tra l'altro, elettrodomestici e automobili), processi e servizi energetici che siano globalmente i più efficienti sul piano energetico.

L'obiettivo del piano di azione è contenere e ridurre la domanda di energia, nonché agire in maniera mirata sul consumo e sull'approvvigionamento per riuscire a ridurre del 20% il consumo annuo di energia primaria entro il 2020 (rispetto alle proiezioni sul consumo energetico per il 2020). Tale obiettivo corrisponde alla realizzazione di risparmi di circa l'1,5% all'anno fino al 2020.

La realizzazione di risparmi energetici significativi e sostenibili implica, da una parte, l'esigenza di sviluppare tecniche, prodotti e servizi a basso consumo di energia e, dall'altra, la necessità di modificare i comportamenti in modo da ridurre il consumo di energia mantenendo comunque la stessa qualità di vita. Il piano presenta una serie di misure a breve e a medio termine per la realizzazione di questo obiettivo.

Copre un periodo di sei anni, dal 1° gennaio 2007 al 31 dicembre 2012. La Commissione ritiene che questo periodo sia sufficiente per permettere l'adozione e il recepimento della maggior parte delle misure che essa propone. Nel 2009 verrà effettuata una valutazione intermedia.

Nella strategia di miglioramento, l'uso delle migliori tecnologie disponibili rivestono un ruolo di grande importanza. Se da un lato, infatti, gli obiettivi del piano d'azione possono essere conseguiti utilizzando le tecnologie esistenti, è evidente dall'altro che debba essere incoraggiata l'adozione delle tecnologie innovative che dovessero emergere nel periodo coperto dal piano d'azione.

---

<sup>11</sup> Conclusioni della presidenza del 23/24 marzo 2006. 7775/1/06 REV1 del 18.5.2006.

<sup>12</sup>Gli obiettivi europei sono quelli previsti dalla "politica 20-20-20".

L'efficienza energetica nel settore edilizio è stata indicata come una delle priorità assolute. La Commissione Europea ritiene che i più consistenti risparmi di energia possano essere realizzati nei seguenti settori: gli edifici residenziali e commerciali (terziario), con un potenziale di riduzione stimato rispettivamente al 27% e al 30%, l'industria manifatturiera, con possibilità di risparmio di circa il 25%, e il settore dei trasporti, con una riduzione del consumo stimata al 26%. Nel settore residenziale le maggiori opportunità di risparmio sono date dall'isolamento dell'involucro, dal miglioramento degli impianti, degli elettrodomestici e di altre apparecchiature che utilizzano energia. Anche il miglioramento dell'efficienza energetica nel settore dei trasporti è considerato di grande importanza, dal momento che questo comparto, oltre a essere quello in cui le emissioni aumentano maggiormente, è responsabile del consumo più elevato di prodotti petroliferi. Per quanto riguarda l'industria è stato sottolineato un significativo potenziale di riduzione della domanda di energia e delle emissioni.

È molto importante il sostegno di un'ampia gamma di strumenti strategici a livello nazionale, regionale e locale, avvalendosi del pieno sostegno degli Stati membri mediante piani nazionali d'azione per l'efficienza energetica.

Sulla base dello scenario sopra delineato, ovvero di una piena realizzazione delle potenzialità di risparmio, per i settori di uso finale, gli ulteriori risparmi realizzabili grazie all'applicazione di politiche e misure nuove e al rafforzamento di quelle esistenti dovrebbero realisticamente arrivare al 20% (1,5% o 390 Mtep per anno) entro il 2020 (compresi i risparmi nei settori di uso finale e a livello di trasformazione dell'energia).

Si tratta di un obiettivo ambizioso, che supera di molto i miglioramenti medi annui dell'intensità energetica realizzati nei decenni precedenti.

Per conseguire gli obiettivi delineati sono necessari un'applicazione e un controllo rigoroso dell'attuale e futuro quadro normativo. Per questo motivo la Commissione ha perseguito in modo rigoroso, utilizzando gli strumenti legali a sua disposizione, il recepimento e l'applicazione corretti della legislazione comunitaria in materia di energia, di edilizia e di elettrodomestici.

Infatti all'interno del piano è stato considerato un corpus di direttive e regolamenti già in vigore nel diritto comunitario finalizzato al miglioramento dell'efficienza energetica dei prodotti che consumano energia, del settore edilizio e dei servizi energetici, che hanno costituito il piano d'azione dandone la forma. Tra essi si possono citare: la Direttiva sulla progettazione ecocompatibile ed etichettatura energetica dei prodotti energetici<sup>13</sup>, relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia. Essa reca modifica alla Direttiva 92/42/CEE del Consiglio e alla Direttiva 92/75/CEE. È una Direttiva dell'Unione Europea "Direttiva sull'etichettatura energetica dei prodotti domestici", comunemente chiamata Direttiva EuP (Energy-using Products) che riguarda l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia.

---

<sup>13</sup> Direttiva 2005/32/CE (EuP). Dal 2008 però tale Direttiva è stata modificata con la Direttiva 2008/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 marzo 2008.



Il Regolamento "Energy Star"<sup>14</sup>, riguarda un programma comunitario di etichettatura relativa ad un uso efficiente dell'energia per le apparecchiature per ufficio. La Direttiva sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici<sup>15</sup>, prevede che gli Stati membri adottano e mirano a conseguire un obiettivo nazionale indicativo globale di risparmio energetico, pari al 9 % per il nono anno di applicazione della presente direttiva da conseguire tramite servizi energetici e ad altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Che adottino misure efficaci sotto il profilo costi benefici, praticabili e ragionevoli, intese a contribuire al conseguimento di detto obiettivo. L'obiettivo nazionale indicativo di risparmio energetico è stabilito e calcolato in conformità delle disposizioni e del metodo di cui all'allegato I (Metodo di calcolo dell'obiettivo nazionale indicativo di risparmio energetico). Ai fini del raffronto dei risparmi energetici e per la conversione in un'unità comparabile si applicano i fattori di conversione di cui all'allegato II (Tabella di conversione), a meno che non sia giustificabile il ricorso ad altri fattori di conversione. Il risparmio energetico nazionale a fronte dell'obiettivo nazionale indicativo di risparmio energetico è misurato a decorrere dal 1° gennaio 2008. Ai fini dei primi piani d'azione in materia di efficienza energetica (PAEE) da presentare a norma dell'art. 14, ciascuno Stato membro stabilisce un obiettivo nazionale indicativo intermedio di risparmio energetico per il terzo anno di applicazione della presente direttiva e fornisce un resoconto della rispettiva strategia per il raggiungimento dell'obiettivo intermedio e di quello globale. L'obiettivo intermedio è realistico e coerente con l'obiettivo nazionale indicativo globale di risparmio energetico. La Commissione esprime il proprio parere segnalando se l'obiettivo nazionale indicativo intermedio appare realistico e coerente con l'obiettivo globale. Gli Stati membri affidano ad una o più autorità o agenzie ( in Italia, l'Enea), nuove o preesistenti, il controllo generale e la responsabilità di supervisionare il quadro istituito, ai fini degli obiettivi sopra riportati. Tali organismi verificano quindi il risparmio energetico risultante dai servizi energetici e dalle altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica, comprese quelle vigenti a livello nazionale, e riferiscono in merito ai risultati della verifica.

In ultimo, la Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia, 2002/91/CE (EPBD).

La Commissione intende incoraggiare gli Stati membri ad applicare in modo efficace questi strumenti, per assicurare il rapido sviluppo di mercato europeo dei beni e dei servizi energetici più efficiente e una duratura trasformazione del mercato. Qualora vi sia la possibilità di adottare ulteriori misure legislative e di supporto per accelerare lo sviluppo di questo mercato, esse saranno considerate prioritarie.

**In Italia, il piano d'azione per l'efficienza energetica PAEE**, è stato trasmesso dal Ministro dello Sviluppo Economico alla Commissione Europea nel luglio 2007, in attuazione dell'articolo 14 della direttiva

---

<sup>14</sup> Regolamento n. 2422/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 6 novembre 2001.

<sup>15</sup> Direttiva 2006/32/CE concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio.

2006/32/CE<sup>16</sup>. Tale Direttiva Comunitaria concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici prevede infatti che ciascun paese membro predisponga il Piano d'azione nazionale in materia di efficienza energetica.

Il **D.Lgs. n.115 del 30 maggio 2008** recepisce la direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.

Il presente decreto, al fine di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, stabilisce un quadro di misure volte al miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi e benefici. Per tali finalità, il presente decreto:

- definisce gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia;
- crea le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici e la fornitura di altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali.

Il **DPR n. 59 del 2 aprile 2009** fissa, tra l'altro, i requisiti minimi nazionali di prestazione energetica degli edifici. Definisce le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva, emanato in attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Dlgs 192/2005. Le nuove norme si applicano all'edilizia pubblica e privata e alle ristrutturazioni di edifici esistenti e adottano - per le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici - le norme tecniche nazionali della serie UNI/TS 11300. Il Dpr 59/2009 è uno dei tre decreti attuativi dei Dlgs 192/2005 e 311/2006, che recepiscono la direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale 158 del 10 luglio 2009, il **DM del 26 giugno 2009** "Linee Guida per la Certificazione Energetica degli edifici". Riguarda la certificazione energetica degli edifici e detta le tanto attese linee guida nazionali. Il decreto, emanato in attuazione della Direttiva europea del 2002, definisce le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e gli strumenti di raccordo, concertazione, cooperazione tra lo Stato e le Regioni, alcune delle quali hanno già definito proprie procedure di certificazione, che si integrano alla normativa nazionale, nel rispetto delle peculiarità di ciascuna Regione. Il

---

<sup>16</sup> La Direttiva 2006/32/CE è stata recepita in Italia dal D. Lgs. 115/2008.

provvedimento segue il decreto del Presidente della Repubblica del 2 aprile scorso (n. 59), che fissa i requisiti energetici minimi per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni di quelli esistenti.

Il decreto, quindi, rende operativa la certificazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale.

In sintesi secondo le linee guida nazionali l'attestato di certificazione energetica deve contenere:

- a) i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge, i valori di riferimento o classi prestazionali che consentano ai cittadini di valutare e raffrontare la prestazione energetica dell'edificio in forma sintetica e anche non tecnica, i suggerimenti e le raccomandazioni in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione;
- b) le norme tecniche di riferimento, conformi a quelle sviluppate in ambito europeo e nazionale;
- c) le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici, compresi i metodi semplificati finalizzati a minimizzare gli oneri a carico dei cittadini, tenuto conto delle norme di riferimento.
- d) Sono elementi essenziali del sistema di certificazione degli edifici i requisiti professionali e i criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici;
- e) Sono elementi essenziali del sistema di certificazione degli edifici, la validità temporale massima dell'attestato;
- f) le prescrizioni relative all'aggiornamento dell'attestato in relazione ad ogni intervento che migliori la prestazione energetica dell'edificio o ad ogni operazione di controllo che accerti il degrado della prestazione medesima.

Questi due provvedimenti hanno, di fatto, reso obbligatori a livello nazionali la certificazione energetica ed i livelli minimi di prestazione energetica.

Le **Norma Tecnica UNI TS 11300** che sono in linea con la Direttiva 2002/91/CE sono assunte come metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. Essa definisce una metodologia di calcolo per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti.

Comprende due parti specifiche:

- " Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale ";
- " Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

## **1.2 Incentivi**

La **Legge Finanziaria 2007** (Legge 296/2006) ha introdotto nell'ordinamento giuridico la detrazione del 55%, per interventi che aumentino l'efficienza energetica degli edifici rispetto ai requisiti minimi del DLgs 192/2005 modificato dal DLgs 311/2006, nonché la definizione di "riqualificazione energetica degli edifici", che si aggiunge alle definizioni di ristrutturazione edilizia, manutenzione straordinaria e restauro introdotte a suo tempo con la Legge 457/1978. Con il termine **riqualificazione energetica** si intendono interventi di ristrutturazione edilizia o manutenzione straordinaria o altro titolo abilitativo aventi come obiettivo il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti. Il fatto che qualunque azione di modifica degli edifici esistenti si debba configurare come miglioramento della prestazione energetica, unitamente alla mutata sensibilità degli operatori del settore, dei clienti/proprietario, ma soprattutto del legislatore, ha fatto sì che anche in altri provvedimenti relativi al settore edile, si utilizzi il requisito dell'efficienza energetica per avere incrementi di volume o altri benefici, come previsto appunto nei diversi provvedimenti "**Piano Casa**" adottati dalle regioni

La **Legge Finanziaria 2007** (legge 296 del 2006) "*Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato*", pubblicata sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 299 del 27/12/06 viene qui riportata limitatamente ai commi che dispongono le informazioni relative agli incentivi per il risparmio energetico.

Tale legge ha previsto una detrazione fiscale del 55% delle spese sostenute per:

1. riduzione delle dispersioni termiche degli edifici (commi 344 e 345);
2. installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda (comma 346);
3. installazione di caldaie a condensazione (comma 347);
4. costruzione di nuovi edifici ad altissima efficienza energetica (comma 351).

E' prevista, invece, una detrazione del 20% per:

1. acquisto di frigoriferi o congelatori ad alta efficienza (comma 353);
2. acquisto di televisori dotati di sintonizzatore digitale integrato (comma 357);
3. installazione di motori elettrici ad alta efficienza o variatori di velocità (commi 358 e 359).

E' prevista, infine, una detrazione del 36% per:

1. sostituzione, nel settore commerciale, di apparecchi illuminanti e lampade a incandescenza con altri/e ad alta efficienza e installazione di regolatori di flusso luminoso (comma 354).

Da ultimo, si noti che sono anche finanziati interventi di carattere sociale da parte degli enti locali per ridurre i costi energetici a carico di soggetti economicamente svantaggiati (comma 364).

Nel Comma 347, viene discusso che per le spese documentate, sostenute entro il 31 dicembre 2007, per interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione e contestuale messa a punto del sistema di distribuzione, spetta una detrazione dall'imposta lorda per una quota pari al 55 % degli importi rimasti a carico del contribuente, fino a un valore massimo della detrazione di 30.000 euro, da ripartire in tre quote annuali di pari importo. La rispondenza dell'intervento previsto dal comma 347 deve essere asseverata (certificata) da un tecnico abilitato, che risponde civilmente e penalmente dell'asseverazione (per impianti di piccole dimensioni, al di sotto dei 100 kW di potenza termica, come quelli per il riscaldamento autonomo è sufficiente la certificazione delle caldaie e degli altri materiali forniti direttamente dalla fabbrica produttrice). Per richiedere la detrazione fiscale è necessario il possesso di un documento di certificazione energetica o di qualificazione energetica, il certificato energetico dell'edificio è definito dalla legge 192 del 2005 la quale rinvia alle regioni il compito di regolamentare la sua produzione da parte di tecnici appositamente abilitati.

La detrazione si applica alle spese sostenute fino "al periodo d'imposta in corso alla data del 31 dicembre 2010". La detrazione d'imposta viene riconosciuta sia alle persone fisiche sia agli enti e alle società di persone e di capitali, che sostengono le spese per interventi su strutture di edifici esistenti, parti di edifici, o unità immobiliari esistenti di qualsiasi categoria catastale, anche rurale, purché posseduti o detenuti (cioè sia di proprietà, che in locazione o in altro tipo di diritto reale sull'immobile).

**Finanziaria per il 2008** (art. 1, commi 20-24, legge n. 244/2007) ha prorogato fino al 31 dicembre 2010 tutte le misure introdotte dalla Finanziaria 2007 relative alle detrazioni del 55% per la riqualificazione energetica degli edifici, inserendo alcune novità. L'applicazione della detrazione viene, inoltre, estesa anche alle spese per la sostituzione - intera o parziale - di impianti di climatizzazione invernale non a condensazione sostenute entro il 31 dicembre 2009. La legge istitutiva (comma 347, Finanziaria 2007) riferiva il beneficio esclusivamente ad impianti dotati di caldaia a condensazione, con contemporanea messa a punto del sistema di distribuzione. Tutte le altre tipologie di impianti termici, potevano ritenersi agevolabili solo ai sensi del comma 344, all'interno della riqualificazione globale dell'edificio (L'allargamento dell'incentivo agli impianti geotermici e alle pompe di calore è dettato dalla finanziaria 2008. E' intervenuto, con un altro articolo del DM 11 marzo 2008, un diverso approccio – estremamente vantaggioso – per cui le caldaie a biomassa che rendono possibile la detrazione 55% prevista dal comma 344).

La **Finanziaria 2010**, prevede una proroga al 2012 solo per l'agevolazione fiscale per gli interventi di ristrutturazione del patrimonio edilizio, il famoso 36%, ma non rifinanzia l'altrettanto noto bonus fiscale per chi installa pannelli solari o migliora le prestazioni energetiche della propria abitazione.

#### 1.4 Limiti normativi sulle emissioni: gli NOx

**Disposizioni relative agli obiettivi di qualità dell'aria Valori limite:** Per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) ed in generale gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), il riferimento normativo è il **Decreto Ministeriale del 2 aprile 2002, n. 60**. Tale DM recepisce la Direttiva Comunitaria 1999/30/CE.

Il presente decreto stabilisce per gli inquinanti biossido di zolfo, biossido di azoto ossidi di azoto, materiale particolato, piombo, benzene e monossido di carbonio:

- i valori limite e le soglie di allarme;
- il margine di tolleranza e le modalità secondo le quali tale margine deve essere ridotto nel tempo;
- il termine entro il quale il valore limite deve essere raggiunto;
- i criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria ambiente, i criteri e le tecniche di misurazione, con particolare riferimento all'ubicazione ed al numero minimo dei punti di campionamento, nonché alle metodiche di riferimento per la misura, il campionamento e l'analisi;
- la soglia di valutazione superiore, la soglia di valutazione inferiore e i criteri di verifica della classificazione delle zone e degli agglomerati;
- le modalità per l'informazione da fornire al pubblico sui livelli registrati di inquinamento atmosferico ed in caso di superamento delle soglie di allarme;
- il formato per la comunicazione dei dati.

Nell'Allegato II (tabella 3) del presente DM vengono mostrati i valori limite per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e per gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e soglia di allarme per il biossido di azoto.

I valori limite per il biossido di azoto e gli ossidi di azoto devono essere espressi in µg/m<sup>3</sup>. il volume deve essere normalizzato ad una temperatura di 293 k e a una pressione di 101,3 kpa.

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
1. Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare 18 volte per anno civile	50% del valore limite, pari a 100 µg/m <sup>3</sup> , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% al 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	50% del valore limite, pari a 20 µg/m <sup>3</sup> all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
3. Valore limite annuale per la protezione della	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	Nessuno	19 luglio 2001

Tabella 3. Limiti NO<sub>x</sub> secondo il DM n. 60 del 2002 – Allegato II

La soglia di allarme per il biossido di azoto è stata stabilita essere 400 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 km<sup>2</sup> oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.

Le informazioni che devono essere fornite al pubblico in caso di superamento della soglia di allarme per il biossido di azoto, devono comprendere almeno:

- a) data, ora e luogo del fenomeno e la sua causa, se nota;
- b) previsioni:
  - sulle variazioni dei livelli (miglioramento, stabilizzazione o peggioramento), nonché i motivi delle variazioni stesse,
  - sulla zona geografica interessata,
  - sulla durata del fenomeno;
- c) categorie di popolazione potenzialmente sensibili al fenomeno;
- d) precauzioni che la popolazione sensibile deve prendere.

**Disciplina delle fonti fisse di emissione:** Nel 2001 è stata elaborata la **Direttiva Europea 2001/81/EC** denominata **NEC**<sup>17</sup> (National Emission Ceilings Directive ), rivolta ai 27 paesi membri della Comunità Europea. È stata recepita in Italia dal D.lgs 171/04.

Scopo della presente direttiva è limitare le emissioni delle sostanze inquinanti ad effetto acidificante ed eutrofizzante e dei precursori dell'ozono, onde assicurare nella Comunità una maggiore protezione dell'ambiente e della salute umana dagli effetti nocivi provocati dall'acidificazione, dall'eutrofizzazione del suolo e dall'ozono a livello del suolo. È di interesse di tale Direttiva perseguire l'obiettivo a lungo termine di mantenere il livello ed il carico di queste sostanze al di sotto dei valori critici e di garantire un'efficace tutela della popolazione contro i rischi accertati dell'inquinamento atmosferico per la salute, stabilendo limiti nazionali di emissione e fissando come termini di riferimento gli anni 2010 e 2020, con successive revisioni.

La presente direttiva si applica alle emissioni degli inquinanti di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), composti organici volatili (COV) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>) che derivano da attività umana, rilasciate da qualsiasi fonte antropica situata nel territorio degli Stati membri o nelle rispettive zone economiche esclusive.

Essa non si applica:

- alle emissioni del traffico marittimo internazionale;
- alle emissioni degli aeromobili al di fuori del ciclo di atterraggio e decollo;

---

<sup>17</sup> Direttiva 2001/81/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2001, relativa ai limiti nazionali di emissione di alcuni inquinanti atmosferici. Recepita in Italia con il Decreto Legislativo 21 maggio 2004, n. 171. Tale Decreto, al fine di tutelare l'ambiente e la salute umana dagli effetti nocivi causati dalla acidificazione, dalla eutrofizzazione del suolo e dalla presenza di ozono al livello del suolo, individua gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per il biossido di zolfo, per gli ossidi di azoto, per i composti organici volatili e per l'ammoniaca rispettino, entro il 2010 e negli anni successivi, i limiti nazionali di emissione stabiliti nell'Annex I.

- per la Spagna, alle emissioni generate nelle Isole Canarie;
- per la Francia, alle emissioni generate nei Dipartimenti d'Oltremare;
- per il Portogallo, alle emissioni generate a Madera e nelle Azzorre.

Entro il 2010 gli Stati membri riducono le emissioni nazionali annue di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), composti organici volatili (COV) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>) al di sotto dei limiti massimi di emissione indicati all'Allegato I, tenendo conto delle eventuali modifiche apportate dalle misure comunitarie adottate in seguito alle relazioni effettuate dai paesi membri.

La Direttiva ambisce a dirigersi verso obiettivi di lungo termine il cui fine è di non eccedere i livelli e i carichi critici (riportati in Tabella 4) incidenti sulla salute dell'uomo stabiliti dalla Comunità prendendo come anni di riferimento il 2010 e il 2020.

Country	SO <sub>2</sub> Kilotonnes	NO <sub>x</sub> Kilotonnes	VOC Kilotonnes	NH <sub>3</sub> Kilotonnes
Belgium	99	176	139	74
Bulgaria (2)	836	247	175	108
Czech Republic	265	286	220	80
Denmark	55	127	85	69
Germany	520	1 051	995	550
Estonia	100	60	49	29
Greece	523	344	261	73
Spain	746	847	662	353
France	375	810	1 050	780
Ireland	42	65	55	116
Italy	475	990	1 159	419
Cyprus	39	23	14	09
Latvia	101	61	136	44
Lithuania	145	110	92	84
Luxembourg	4	11	9	7
Hungary	500	198	137	90
Malta	9	8	12	3
Netherlands	50	260	185	128
Austria	39	103	159	66
Poland	1 397	879	800	468
Portugal	160	250	180	90
Romania (2)	918	437	523	210
Slovenia	27	45	40	20
Slovakia	110	130	140	39
Finland	110	170	130	31
Sweden	67	148	241	57
United Kingdom	585	1 167	1 200	297
EC 27	8 297	9 003	8 848	4 294

Tabella 4. Allegato I, i tetti nazionali emissivi per i SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC e NH<sub>3</sub> da rispettarsi entro il 2010. (NECD, 2001/81/EC).



- (<sup>1</sup>) These national emission ceilings are designed with the aim of broadly meeting the interim environmental objectives set out in Article 5. Meeting those objectives is expected to result in a reduction of soil eutrophication to such an extent that the Community area with depositions of nutrient nitrogen in excess of the critical loads will be reduced by about 30 % compared with the situation in 1990.
- (<sup>2</sup>) These national emission ceilings are temporary and are without prejudice to the review according to Article 10 of this Directive, which is to be completed in 2008.

Gli Stati membri al fine di creare degli inventari di emissione hanno dovuto elaborare programmi per la progressiva riduzione delle emissioni nazionali degli inquinanti per conformarsi almeno ai limiti nazionali di emissione indicati all'Allegato I (Tabella 4) entro il 2010.

I programmi nazionali hanno dovuto contenere una descrizione delle politiche e misure adottate o previste e stime quantitative degli effetti che dette politiche e misure avranno sugli inquinanti nel 2010.

Gli Stati membri sono stati tenuti a mettere a disposizione della popolazione e delle organizzazioni interessate, come le associazioni ambientaliste, i programmi elaborati.

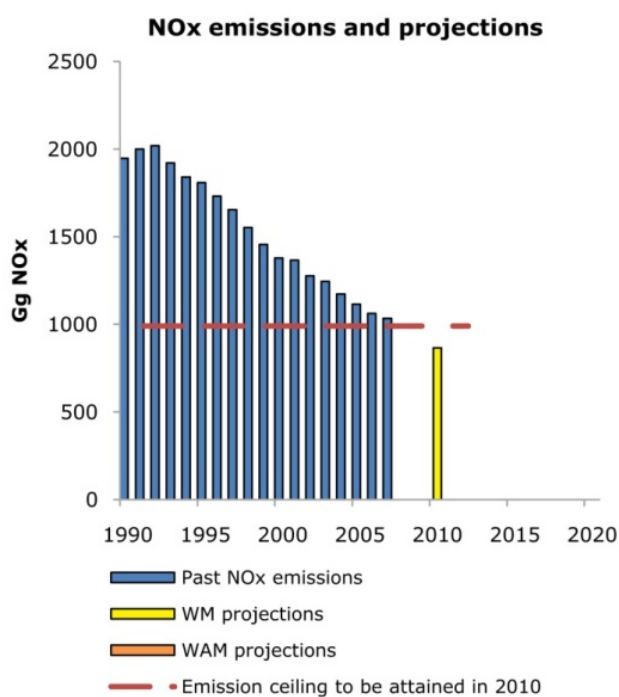
È fondamentale raggiungere gli obiettivi prefissati nell'Allegato dei limiti per SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC e NH<sub>3</sub> poiché minacciano la salute umana e l'ambiente contribuendo alla formazione di ozono e del particolato causando poi acidificazione ed eutrofizzazione. I paesi della Comunità Europea ogni anno sono tenuti a pubblicare degli inventari di emissione nazionali d'accordo con la Commissione e con la European Environment Agency (EEA).

Ogni nazione produce un report annuale (Tabella 5) sul suo stato procurando informazione di dettaglio sulle emissioni suddivise secondo l'indice Pil o pro capite e, gli stati di aggiornamento e previsione in grado di confrontare tra loro i diversi paesi.

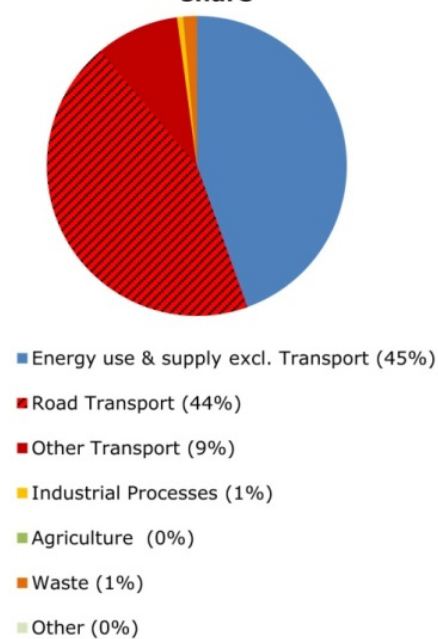
Tali report devono includere le informazioni anno per anno concernenti le emissioni, le proiezioni e anche le valutazioni economiche, includenti gli effetti dei costi, i benefits e l'impatto socioeconomico dovuto all'implementazione dei livelli massimi di emissioni imposti ad ogni stato membro. Gli inventari di emissioni si riferiscono sia all'anno passato che alle previsioni ed ogni paese membro è obbligato ad adempiere tale compito.

## NOx emission trends and projections in Italy

NOx emission profile	Key data	Value	Unit	Rank in EU-27*
	Total NOx emissions 1990	1 946.7	(Gg)	2 (19)
	Total NOx emissions 2007	1 034.8	(Gg)	5 (27)
	NOx emissions in 2007 per capita	17.4	(kg/cap.)	24 (27)
	NOx emissions per GDP in 2007 (current prices)	0.7	(g/euro)	21 (27)
Share of NOx in EU-27 in 2007	9.7	%		
Progress towards ceiling	Current and projected progress towards ceiling	Value	Unit	
	2010 Emission ceiling	990	(Gg)	
	2010 WM projections (existing measures in place)	865.0	(Gg)	
	2010 projected effect of (planned) additional measures	NE	(Gg)	
		Absolute	Unit	Relative (%)
Distance to NOx emission ceiling in 2007	44.8	(Gg)	4.5	
Comparison of 2010 emission ceiling with WM projections 2010	-125.0	(Gg)	-12.6	



## NOx emissions 2007: sectoral share



NOx trends	Trend of total NOx emissions	Absolute	Unit	Relative (%)
	Trend of total NOx emissions, 2006-2007	- 26.5	(Gg)	-2.5
	Trend of total NOx emissions, 1990-2007	- 911.9	(Gg)	-46.8
	Trend of NOx emissions per capita, 2000-2007	-6.8	(kg/cap.)	-28.0
	Trend of NOx emissions per GDP, 2000-2007	-0.5	(g/euro)	-42.1

\* 1 = highest value; the number in brackets shows the number of Member States that reported data.

GDP and population data from Eurostat <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home> accessed: 06.05.2009

Tabella 5. Esempio di scheda in questo caso riferita all'Italia relativa all'anno 2007 in base ai criteri della Direttiva NEC. La pagina si riferisce alla valutazione di NOx. (EEA, 2009).

Si prevede che per il 2010 molti tra gli Stati avranno ridotto significativamente le emissioni e molti saranno andati addirittura sotto il limite a loro prefissato.

Come sembra nell'ultimo report NECD, per molti Stati Membri il limite emissivo più difficile da raggiungere entro il 2010 è quello degli NOx.

Per i paesi EU-27 in generale si può dire che la produzione di NOx sia scesa dal 2005. La variazione annuale 2006-2007 nel caso dell'Italia è stata registrata essere -2%.

NO <sub>x</sub> (Gg)	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Change 2006- 2007 (%)	Change 1990- 2007 (%)	Contri- bution to EU-27 in 2007 (%)
Austria	179	162	164	165	165	167	166	166	166	163	- 2	- 9	2
Belgium	379	371	329	314	297	295	297	284	267	259	- 3	- 32	2
Bulgaria	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	233	246	188	- 24	NE	2
Cyprus	14	17	19	19	19	20	18	17	17	17	0.3	20	0.2
Czech Republic	NE	NE	291	291	284	283	286	293	281	281	- 0.1	NE	3
Denmark	273	265	201	198	195	204	188	180	181	167	- 8	- 39	2
Estonia	74	38	35	38	40	39	37	32	31	34	12	- 53	0.3
Finland	286	238	210	220	208	219	205	177	192	182	- 5	- 36	2
France	1 938	1 765	1 617	1 569	1 533	1 498	1 479	1 459	1 397	1 344	- 4	- 31	13
Germany	2 862	2 132	1 815	1 735	1 640	1 580	1 532	1 447	1 354	1 284	- 5	- 55	12
Greece	296	315	337	351	350	361	359	386	361	374	4	26	4
Hungary	238	NE	186	NE	NE	180	185	203	208	190	- 9	- 20	2
Ireland	130	131	126	128	120	116	115	117	113	114	0.2	- 13	1
Italy	1 947	1 808	1 378	1 367	1 276	1 245	1 173	1 114	1 061	1 035	- 2	- 47	10
Latvia	68	40	37	38	38	40	45	43	44	43	- 3	- 37	0.4
Lithuania	NE	NE	NE	NE	51	53	55	58	61	67	9	NE	1
Luxembourg	23	19	16	16	16	16	14	14	14	14	- 5	- 41	0.1
Malta	11	12	9	10	10	10	12	12	11	11	- 1	8	0.1
Netherlands	560	460	398	420	396	393	379	351	327	300	- 8	- 46	3
Poland	NE	NE	NE	NE	NE	808	804	811	879	862	- 2	NE	8
Portugal	255	286	298	300	309	285	288	289	266	253	- 4.9	- 0.5	2
Romania	NE	NE	296	NE	NE	NE	NE	303	326	329	1	NE	3
Slovakia	NE	NE	109	109	101	98	98	98	87	83	- 5	NE	1
Slovenia	NE	NE	NE	NE	58	56	58	47	47	45	- 5	NE	0.4
Spain	1 179	1 259	1 353	1 336	1 390	1 385	1 416	1 412	1 367	1 378	1	17	13
Sweden	301	265	212	203	197	192	182	175	170	165	- 3	- 45	2
United Kingdom	NE	NE	1 512	1 828	1 715	1 710	1 657	1 622	1 597	1 486	- 7	NE	14
<b>EU-27</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>11 342</b>	<b>11 073</b>	<b>10 666</b>	<b>- 4</b>	<b>NE</b>	<b>100</b>

Tabella 6. Movimenti delle emissioni NOx per i paesi membri dal 1990 al 2007. (2008, NECD 2001/81/EC).

Dei 27 paesi membri solo da 15 ci si aspetta di rispettare i tetti stabiliti entro il 2010 e che due stati Danimarca e Malta sono previsti raggiungere in anticipo il limite prestabilito. L'incapacità di raggiungere i limiti NECD (Tabella 6) in valori assoluti è rilevante per Spagna, Francia e Gran Bretagna ed in termini relativi per l'Irlanda 58% ( le cui le emissioni NOx nel 2007 erano sopra il limite nazionale del 75%), l'Austria del 50% e il Belgio del 43%. La Germania ha invece riportato di essere in grado di rispettare i tetti aumentando le misure restrittive.

I limiti nazionali di emissione da raggiungere entro il 2010 fissati dal D.lgs 171/04, in recepimento della Direttiva 2001/81/CE, sono per gli NO<sub>x</sub> di 990 mila tonnellate. Nel 2007, rispetto al 1990, gli ossidi di azoto si sono ridotti del 43 per cento. Secondo le previsioni riportate in Figura 1, l'Italia dovrebbe essere in grado di rispettare entro i tempi attesi i limiti NO<sub>x</sub>.

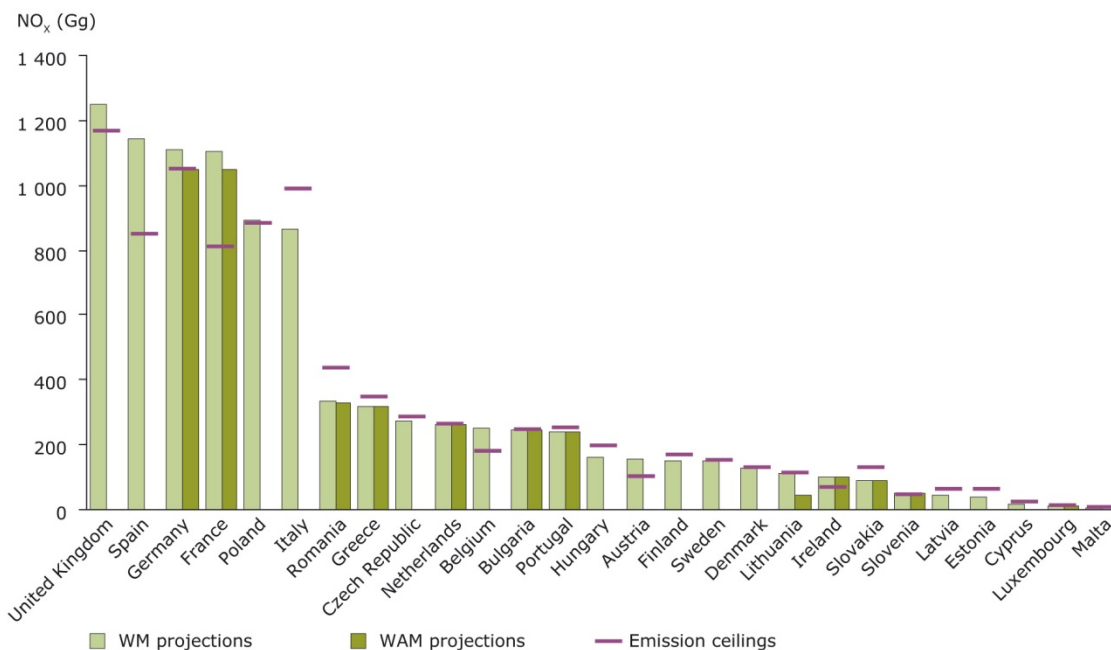


Figura 1. Confronto tra le proiezioni di NO<sub>x</sub> WM e WAM<sup>18</sup> e i tetti limite prefissati per il 2010. (2008, NECD 2001/81/EC).

Pertanto in conclusione non si ritiene realistico riuscire a porre in essere politiche in grado di determinare l'adozione di pressoché tutte le tecnologie disponibili da qui al 2010, pertanto il raggiungimento del tetto al totale delle emissioni nazionali sembra fuori portata. Tuttavia un aiuto a ridurre l'ammontare delle misure necessarie potrebbe venire dalla valutazione dei possibili effetti, sulle emissioni di NO<sub>x</sub>, di scenari energetici che prevedano anche politiche dirette all'aumento dell'efficienza energetica (come previsto dal sistema dei Certificati Bianchi<sup>19</sup>) e misure di incentivazione delle fonti energetiche rinnovabili (come previsto dal

<sup>18</sup> Projections with measures WM: mostrano l'evoluzione dell'inquinante basandosi sulle attività nazionali e sulla regolazione normativa nazionale.

Projections with additional measures WAM: proiezioni che tengono conto dei piani di riduzione dettati dai Protocolli nazionali cosa che invece le Projections WM non fanno.

<sup>19</sup> I Certificati Bianchi (CB) o Titoli di Efficienza Energetica (TEE), sono titoli emessi dal Gestore del Mercato Elettrico a fronte di risparmi energetici verificati e certificati dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. Si tratta di un sistema assolutamente innovativo per promuovere interventi di miglioramento dell'efficienza energetica negli usi finali (Decreti Ministeriali 2001-2004). Il risparmio energetico conseguito con la realizzazione degli interventi viene certificato e premiato con l'emissione di Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica, che possono essere commercializzati. I Certificati Bianchi sono di tre tipi: interventi per il risparmio di energia elettrica, interventi per il risparmio di gas naturale, interventi per il risparmio di altri combustibili.

sistema dei Certificati Verdi<sup>20</sup>). L'impatto di tali misure sui consumi di energia e sul mix di combustibili utilizzati dal sistema può avere un effetto positivo "indiretto" sulle emissioni di NOx, determinando quindi una riduzione delle necessità di abbattimento rispetto allo scenario tendenziale, con conseguente possibile riduzione degli obblighi (e degli oneri) per i diversi settori.

Rappresentando gli ossidi di azoto (NOx) una delle problematiche più ingombranti per la lotta l'inquinamento globale, si è deciso di analizzare nel dettaglio le proprietà di questi in qualità di agenti inquinanti per ridurre il problema e la grandezza della sfida che essi rappresentano.

---

<sup>20</sup>Con Certificati Verdi si intende la certificazione della produzione di energia da fonti rinnovabili. Sono titoli annuali attribuiti all'energia prodotta da fonti rinnovabili in impianti entrati in servizio o ripotenziati a partire dal 1° aprile 1999, che costituiscono un innovativo sistema di incentivazione della produzione di energia rinnovabile, conosciuto anche come decreto Bersani (D.lgs.n. 79/99).

## **2. Il problema ambientale degli Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)**

Con il termine NO<sub>x</sub> vengono indicati genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico ossia l'ossido di azoto, NO, e il biossido di azoto, NO<sub>2</sub>, gas bruno di odore acre e pungente. L'ossido di azoto, NO, è formato principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria (circa 70% N<sub>2</sub>) con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono ad elevata temperatura e in special modo durante le combustioni per la produzione di calore, vapore, energia elettrica, energia meccanica.

Il maggiore responsabile dell'inquinamento antropico da ossidi di azoto è il traffico autoveicolare che rappresenta quasi il 50% della produzione globale, subito seguito dalla combustione per la climatizzazione invernale. La notevole reattività fotochimica è sicuramente la caratteristica peculiare degli ossidi di azoto. Questo tipo di reattività li rende precursori di una innumerevole serie di reazioni radicaliche che avvengono nella troposfera.

### **2.1 Introduzione agli Ossidi di Azoto NO<sub>x</sub>**

Gli Ossidi di Azoto vengono generalmente indicati come NO<sub>x</sub> e sono i composti di azoto ed ossigeno con riferimento, principalmente, ad NO ed NO<sub>2</sub>. Esistono però composti dell'ossigeno con l'azoto in tutti gli stati di ossidazione, da più uno a più cinque:

- l'ossido di azoto (NO);
- il diossido di azoto o ipozotite (NO<sub>2</sub>, anche come dimero N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>);
- l'ossido di diazoto o protossido di azoto (N<sub>2</sub>O);
- il triossido di diazoto o anidride nitrosa (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);
- il pentossido di diazoto o anidride nitrica (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO<sub>x</sub> che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore; è anche chiamato ossido nitrico. E' prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NO<sub>x</sub> totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (forma dimera) e NO<sub>2</sub> che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il colore rossastro dei fumi è dato dalla presenza della forma NO<sub>2</sub> (che è quella prevalente).

Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto. Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitrati, i perossiacetilnitrati, ed altri. Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti). Da notare che gli NO<sub>x</sub> vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

La quantità degli NO<sub>x</sub> che si forma dipende:

- Dalla temperatura;
- Dal tempo di permanenza dei gas ad alta temperatura;
- Dalla quantità d'ossigeno disponibile (circa il 2-3%, perché il resto serve alla reazione di combustione).

Vi sono due reazioni significative iniziali nella formazione degli NO<sub>x</sub>. Nella prima reazione, l'alta temperatura favorisce la formazione di NO; se la miscela di gas in equilibrio viene raffreddata lentamente, l'NO formato si dissocia nuovamente in O<sub>2</sub> ed N<sub>2</sub>; se invece il raffreddamento è repentino, come avviene nella maggior parte dei casi, trattandosi di gas di scarico rilasciati in atmosfera, l'NO formatosi permane stabilmente.

È possibile ridurre la pressione parziale (cioè la concentrazione) di ossigeno per ridurre la formazione di NO, però in difetto di ossigeno aumentano le emissioni di CO della combustione.

La seconda reazione di equilibrio dipende principalmente da:

- Temperatura;
- Concentrazione di gas:

La velocità ( $v$ ) di formazione di NO<sub>2</sub> è funzione della concentrazione di ossigeno e del quadrato della concentrazione di NO.

$$v = k (\text{NO})^2 \times (\text{O}_2)$$

La concentrazione di NO nei gas di scarico diminuisce per effetto della diluizione con l'aria, e quindi la velocità di formazione di NO<sub>2</sub> è molto ridotta; d'altra parte, la velocità di formazione di NO<sub>2</sub> aumenta con il raffreddamento (conseguente all'espansione dei gas). L'effetto totale dipende dalla risultante di due fattori che hanno effetti opposti. In definitiva, prevale la diminuzione di velocità di reazione dovuta alla diluizione di ossigeno e solo il 5-10% dell'NO prodotto si ossida successivamente ad NO<sub>2</sub>.

### 2.1.2 Il ciclo fotolitico degli NOx

Il *Ciclo fotolitico* è una conseguenza diretta dalla interazione tra luce solare e NO<sub>2</sub>. Alcuni quantitativi di NO si convertono in NO<sub>2</sub> una volta giunti in atmosfera per il verificarsi del ciclo fotolitico degli ossidi di azoto. La notevole reattività fotochimica è sicuramente la caratteristica peculiare degli ossidi di azoto. Le reazioni fotochimiche avvengono in seguito all'assorbimento di energia proveniente dalla radiazione solare da parte di molecole, atomi e ioni. Questo tipo di reattività li rende precursori di una innumerevole serie di reazioni radicaliche che avvengono nella troposfera le cui fondamentali sono riassunte nel seguente "Ciclo Fotolitico":

Se nelle reazioni non intervenissero altri fattori si manterrebbero costanti i rapporti tra NO<sub>2</sub> e NO presenti in atmosfera. In realtà la presenza di altre molecole accettrici di radicali, quali ad esempio particolari idrocarburi, favoriscono l'accumulo di NO<sub>2</sub> e di ozono, O<sub>3</sub>. Ulteriori reazioni non ancora completamente studiate sono quelle che portano nel giro di tre, quattro giorni alla scomparsa completa sia di NO che di NO<sub>2</sub>, si pensa per la loro trasformazione in presenza di umidità atmosferica in acido nitrico e di conseguenza in nitrati che ricadono poi al suolo con le piogge o sotto forma di particolati.

Le fasi del ciclo sono:

- I. NO<sub>2</sub> assorbe energia dal sole sotto forma di luce ultravioletta.
- II. L'energia assorbita scinde le molecole di NO<sub>2</sub> in molecole di NO e atomi di ossigeno O; l'ossigeno atomico prodotto è molto reattivo.
- III. Gli atomi di ossigeno atomico reagiscono con l'ossigeno atmosferico (O<sub>2</sub>) per produrre ozono (O<sub>3</sub>), un inquinante secondario.
- IV. L'ozono reagisce con l'NO per dare NO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> e il ciclo si chiude.

Se il ciclo avvenisse effettivamente così, l'NO<sub>2</sub> si convertirebbe in NO per convertirsi nuovamente in NO<sub>2</sub> senza modifiche nelle concentrazioni dei due composti a regime. Ma gli idrocarburi presenti nell'atmosfera interferiscono nel ciclo facendo sì che l'NO si converta più rapidamente in NO<sub>2</sub> di quanto NO<sub>2</sub> venga dissociato in NO e O, con un conseguente accumulo di NO<sub>2</sub> e di ozono.

Il ciclo fotolitico degli ossidi di azoto è implicato nell'interazione con altri inquinanti primari (ad es. HC) e nella generazione di inquinanti secondari, quali i PAN e l'ozono (ossidanti fotochimici).

In sostanza, semplificando i prodotti con i reagenti, la reazione è apparentemente priva d'effetto perché origina un ciclo chiuso. Il ciclo fotolitico degli NOx è privo di effetto solo in assenza di interazione con altri inquinanti.

In realtà, per effetto combinato della radiazione solare e dell'intensità del traffico nell'arco della giornata, la concentrazione nell'atmosfera urbana degli NOx e dell'ozono varia come indicato nella figura sottostante.



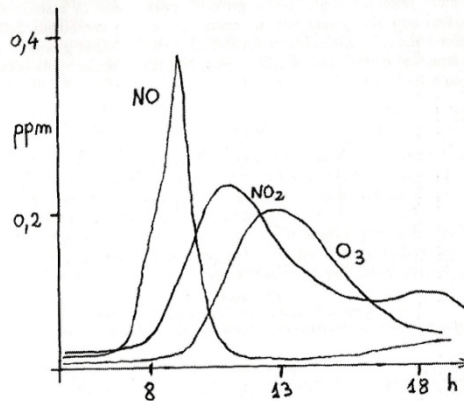


Figura 2. Effetti del ciclo fotolitico degli NOx: variazioni nel tempo (giornata) delle concentrazioni atmosferiche di ossido di azoto (NO), biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) ed ozono (O<sub>3</sub>) (Singh, *Reactive nitrogen in the troposphere*, Environ, 1987).

La Figura 2 mostra la variazione, nel corso della giornata, delle concentrazioni atmosferiche dell'ossido di azoto primario e del biossido di azoto e dell'ozono, inquinanti secondari. Il primo picco, riferito all'NO primario emesso dagli scarichi, decresce nel corso della mattinata per effetto della sua trasformazione in NO<sub>2</sub> secondario di origine fotolitica; successivamente, verso mezzogiorno, si accumula anche ozono (vedi ciclo NOx). Verso sera, diminuita la radiazione solare, risale la concentrazione di NO<sub>2</sub> che deriva dall'ossidazione di NO da parte dell'ozono la cui concentrazione scende.<sup>21</sup>

## 2.2 Aspetti chimici e fisici della formazione di NOx

Le emissioni da ossidi di azoto provengono dall'utilizzo di impianti e di combustibili fossili.

Il contributo della ricerca per capire in profondità la formazione degli NO e NO<sub>2</sub> durante e dopo la combustione e i metodi tecnicamente efficaci per ridurre le emissioni da fonti mobili e stazionari, è stato considerevole.

Molte sono state le scoperte per ridurre le emissioni di NOx. La conoscenza fondamentale del processo di combustione, incluso di formazione (e distruzione) di ossidi di azoto può essere solo un primo passo per migliorare la situazione ambientale.

Le reazioni chimiche coinvolte sono logicamente strettamente collegate ai trasporti fisici e alle condizioni geometriche di confine.

<sup>21</sup> *Inquinamento Atmosferico e cicli ambientali*, Fabio Zonta e Paola Masotti, Ed. Uni Service

La qualità dei combustibili e le condizioni di operazione sono fondamentali nell'influenza dello stato attuale di emissioni.<sup>22</sup>

La formazione di NO avviene durante e dopo la combustione, solo una piccola frazione si converte in NO<sub>2</sub> che, nella maggior parte dei casi, si forma più tardi nell'atmosfera.

Ci sono tre diversi meccanismi di formazione in relazione alle condizioni di temperatura, concentrazioni, tempo di rimanenza e tipo di combustibile utilizzato. I cammini di reazione principali che conducono alla formazione degli ossidi di azoto si riassumono essenzialmente in :

- Meccanismo Thermal NO;
- Meccanismo Prompt NO;
- Meccanismo Fuel NO.

Il meccanismo Thermal NO si forma in presenza di elevate temperature e di una grossa quantità di ossigeno. La formazione dei Thermal NO<sub>x</sub> è determinata da una serie di reazioni chimiche fortemente dipendenti dalle alte temperature (meccanismo di Zeldovich). È quello più pericoloso perché è il responsabile dell'inquinamento dell'atmosfera, e può essere limitato o a posteriori con dei catalizzatori, o a priori adottando delle tecniche particolari di combustione (come ad esempio il Reburning, quindi l'immissione di altro combustibile).

Nel meccanismo Prompt NO , il NO<sub>x</sub> si forma nella parte iniziale della combustione, dove si è in forte presenza di sostanze intermedie molto aggressive, e che quindi attaccano anche l'azoto. È un meccanismo del tutto normale e non preoccupa più di tanto, dato che gli NO<sub>x</sub> prodotti in questa fase vengono poi ridotti da altri intermedi quali la CO.

Il meccanismo Fuel NO è una ulteriore fonte di emissione di NO nella combustione di idrocarburi, è l'azoto chimicamente legato al combustibile stesso. Si ha utilizzando combustibili, in genere solidi, che presentano azoto sotto forma di cianuri o ammine. Gli ossidi di azoto derivanti da tale meccanismo di produzione, diventa particolarmente insidioso quando ad essere bruciati sono carbone o i suoi derivati.

È abbastanza chiaro il fatto che nei processi chimici di formazione di NO, *i fattori fisici* siano di maggior importanza: la temperatura, la pressione, le concentrazioni di specie e il tempo di rimanenza. Tuttavia è difficile separare i fenomeni chimici da quelli fisici.

Ci sono altri fattori connessi ai processi di generazione di calore ed elettricità che sono variabili fondamentali. Questi sono stati divisi secondo i seguenti parametri:

---

<sup>22</sup> *Air pollution by nitrogen oxides*, T. Schneider, L. Grant. - Amsterdam : Elsevier, 1982

- il design dei bruciatori;
- il design della camera di combustione;
- il raffreddamento delle pareti e altri serbatoi di calore (fornaci);
- la preparazione del combustibile, la sua iniezione, la miscela di aria e combustibile;
- il preriscaldamento dell'aria;
- il peso del bruciatore.

Capire i processi fisici basici aiuta ad ottimizzare le variabili fisiche fondamentali nella formazione di NO. In alcuni casi però i requisiti per ottimizzare i processi fisici entrano in contraddizione con le condizioni necessarie per ottenere basse emissioni di NOx. In ogni caso il contributo di questi processi alla produzione di NOx è in ogni caso piccolo. Nella maggior parte delle applicazioni tecniche tuttavia è possibile ottenere una riduzione di NOx.

### **2.3 Il ciclo degli NOx**

L'atmosfera contiene un numero di composti di azoto con differenti proprietà fisiche e chimiche. Le differenze nella composizione chimica dipende dal tempo di permanenza nell'atmosfera e variano da una parte all'altra del mondo. Per questa ragione è bene aspettarsi variazioni locali e regionali nelle valutazioni atmosferiche globali dei flussi così come delle concentrazioni.

E' importante dunque conoscere il ciclo degli NOx per svariate ragioni:

- Per la valutazione quantitativa del trasporto su lunghe distanze di NOx e dei suoi prodotti di reazione e per la stima dell'impatto urbano dovuto da NOx e dai suoi prodotti di reazione nelle zone di sotto vento;
- Per capire meglio la chimica della troposfera.

L'attività umana ha aumentato le emissioni di NOx nell'atmosfera non più solo in aree urbane ma anche in zone non particolarmente urbanizzate a scala continentale. Sin dagli anni '60 la produzione degli NOx è aumentata. Essi sono risultati essere una delle peggiori cause dello smog fotochimico, in grado di danneggiare piante, materiali e gli esseri viventi. La presenza di questo smog è presente in ogni area urbana nel globo terrestre. I NOx con i SOx sono considerati causa anche dell'acidificazione delle precipitazioni e dei sistemi di acqua dolce con scarse capacità di respingimento. Il problema è nato fondamentalmente dalla combustione di carbone, petrolio e gas naturale.

L'ozono interferisce con la composizione chimica della troposfera a causa del suo ruolo nella formazione di radicali OH che, di conseguenza, reagiscono con la maggior parte dei gas della troposfera diventando il maggior serbatoio di gas come CO, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e NOx.

Gli NO<sub>2</sub> azoto giocano un ruolo importante nella produzione fotochimica di ozono in questa zona dell'atmosfera poiché l'unica fonte di ozono nella troposfera è la fotolisi di NO<sub>2</sub>.

Al fine di descrivere in maniera soddisfacente il ciclo degli NO<sub>x</sub> bisogna conoscerne la *distribuzione*, le *fonti* e i *serbatoi* così come la *formazione*, i loro *prodotti* e la loro *rimozione*.

Le alte temperature della combustione dei combustibili fossili porta alla formazione degli ossidi di azoto. Le maggiori *fonti* sono i trasporti e la produzione di energia.

E' opportuno distinguere tra le fonti d'emissione naturali e quelle antropiche, conseguenti alle attività umano.

Una delle principali *fonti naturali* d'ossidi d'azoto son l'azione dei batteri denitrificanti e le scariche elettriche atmosferiche. La maggior fonte di produzione di NO<sub>x</sub> nella stratosfera sono i N<sub>2</sub>O originati dai processi di nitrificazione e denitrificazione nella biosfera che poi vengono conseguentemente portati nella stratosfera. Avviene poi uno scambio tra troposfera e stratosfera.

Il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) è prodotto durante i temporali a causa del calore estremo dei fulmini ed avviene per la rottura delle molecole di idrogeno. Questo può risultare nella produzione di piogge acide; l'N<sub>2</sub>O forma dei composti con le molecole d'acqua in precipitazione creando così piogge acide.

Un altro fonte di NO<sub>x</sub> è l'ossidazione di NH<sub>3</sub>. Questa viene in parte convertita in NO nella troposfera da una catena di reazioni chimiche. Avviene una prima reazione tra ammoniacca e OH radicali e poi avviene la trasformazione di NH<sub>2</sub> in NO.

Nelle zone agricole continentali dove vi sono maggiori concentrazioni di ammoniacca, l'ossidazione di NH<sub>3</sub> diventerà un bacino di NO<sub>x</sub> invece che una fonte.

Gli incendi inoltre possono contribuire molto alla presenza di gas nell'atmosfera. La maggior parte degli incendi avviene durante la stagione secca nelle zone dei tropici. Le cause sono attribuibili soprattutto ad azioni umane ma anche ad accadimenti naturali.

In particolare dunque, i processi di denitrificazione (un processo nell'ambito del ciclo dell'azoto nel terreno, che comporta la riduzione dell'azoto nitrico con formazione di gas che si liberano nell'atmosfera (N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) ) e l'impiego di fertilizzanti agricoli sono la fonte principale (71% in USA) di emissione di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O). Le quantità totali di NO<sub>x</sub> rilasciate in atmosfera da fonti naturali sono 10 volte maggiori delle quantità da fonti antropiche (500 milioni di ton/anno contro 50 milioni di ton/anno). Le fonti naturali sono responsabili dell'emissione di circa un terzo delle emissioni totali di NO<sub>x</sub>.

Tra le possibili *fonti antropiche* (combustioni in impianti fissi, trasporti, industrie, incenerimento, ed altri) sono ai primi posti nell'emissione di NO<sub>x</sub>:

- Trasporti, responsabili, in Italia, nel 1997, del 56% delle emissioni di NO<sub>x</sub>. Il convertitore catalitico dei gas di scarico degli autoveicoli riduce le emissioni di NO ma aumenta la percentuale delle emissioni di

protossido d'azoto (N<sub>2</sub>O) rispetto agli altri NO<sub>x</sub>;

- Combustione in impianti fissi (centrali termoelettriche e domestiche, combustioni varie). L'uso di combustibili fossili contribuisce al 17% delle emissioni di NO<sub>x</sub> in Italia. Le maggiori emissioni provengono da centrali elettriche; gli impianti che usano tecnologie di combustione a letto fluido, con migliore rendimento termodinamico, hanno basse emissioni di NO ma alte emissioni di N<sub>2</sub>O, che è, un gas serra;
- Impianti industriali. Emettono NO<sub>x</sub> soprattutto le fabbriche di fertilizzanti azotati.

Gli impianti di riscaldamento costituiscono una fonte importante di NO<sub>x</sub> nel periodo invernale; sono responsabili del 60% delle concentrazioni aerodisperse.

In tabella 7 sono riportati per diversi inquinanti i fattori di emissione (grammi di NO<sub>x</sub> emessi per unità di combustibile) in relazione a diversi tipi di combustione utilizzato.

<b>Fonti</b>	<b>Naturali</b>	<b>Antropiche</b>
<b>Combustione di combustibili fossili</b>	-	21
<b>Combustione di biomasse</b>	-	12
<b>fulmini</b>	8.0	-
<b>Attività microbica nei suoli</b>	8.0	-
<b>Input della stratosfera</b>	0.5	-
<i>totale</i>	<i>16.5</i>	<i>33</i>

*Tabella 7. Fonti di emissione di NO<sub>x</sub>. Quantità globali espresse in  $g \times 10^{12}$  di azoto l'anno, ovvero milioni di ton (con un'incertezza di ca. %), (Singh, 1987).*

La riduzione, nel tempo, delle emissioni antropiche di NO<sub>x</sub> avviene più lentamente rispetto a quella delle emissioni di CO, perché il controllo di NO<sub>x</sub> è più difficile.

	<b>USA</b>	<b>EU 15</b>	<b>ITALIA</b>	<b>%</b>
<b>INDUSTRIA</b>	4.530	1.304	254	15,1
<b>ENERGIA</b>	5.623	1.878	293	17,4
<b>TRASPORTI</b>	11.908	6.935	948	56,2
<b>ALTRO</b>	1.542	698	190	11,3
<b>TOTALE</b>	23.603	10.815	1.685	100,0

*Tabella 8. Fonti antropiche di emissioni di NO<sub>x</sub> nel 1997 Le qualità sono espresse in migliaia di tonnellate all'anno(EEA,2000; ISTAT,2000; EPA,2000).*

Per quanto riguarda i *serbatoi* di inquinanti in atmosfera, vi sono principalmente quattro meccanismi di formazione:

- La deposizione secca (Con il termine piogge acide si intende generalmente il processo di ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni acide. Se non entrano in contatto con delle goccioline d'acqua, questi gas e, soprattutto i particolati acidi che da loro si formano, pervengono al suolo tramite deposizione secca);
- La deposizione umida (Il processo mediante il quale i composti chimici sono rimossi dall'atmosfera e depositati sulla superficie della Terra tramite pioggia, neve, nuvole, nebbia. Rainout – piogge radioattive e washout – erosione del suolo prodotta dalle piogge);
- Conversione chimica dovuta a reazioni omogenee ed eterogenee;
- Il flusso verso la stratosfera. Questo serbatoio in ogni caso non gioca nessun ruolo nel ciclo globale di NO<sub>x</sub>.

La deposizione secca ed umida non sono considerate di estrema importanza nella formazione di bacini di NO<sub>x</sub>.

La trasformazione chimica prevede invece che le reazioni di ossidazione con i radicali (OH) e l'ozono nella troposfera libera siano il più grande meccanismo di creazione di bacini di NO<sub>x</sub>.

#### **2.4 I processi fisici in atmosfera**

Una delle indesiderate ma inevitabili conseguenze dell'attività umana è la produzione di inquinamento nell'ambiente atmosferico. Si tratta di un non equilibrato rapporto tra quantità di materiali rilasciato per unità di tempo e la capacità di trasporto e rimozione di questi. A causa di questo disequilibrio si origina l'impatto ambientale.

La produzione di materiale di scarto avviene in ogni attività umana nella nostra società. Nel passato ciò non era considerato un problema poiché l'intensità e la densità della produzione di rifiuti non era così sproporzionata rispetto alle capacità di assorbimento da parte dell'ambiente.

La rivoluzione industriale ha cambiato drasticamente questa relazione. Oltre alla banale e impensabile soluzione della riduzione se non eliminazione dei processi che provocano l'eccesso di rifiuti, esistono in generale due approcci per circoscrivere gli effetti avversi dell'inquinamento:

- Il primo consiste nella condensazione del materiale di scarto in piccoli volumi e nel loro stoccaggio in posti che abbiano un trascurabile effetto con l'ecosistema (nel suolo, nei fondali del mare, nel deserto o sottoterra);
- Il secondo sistema è quasi opposto al primo e consiste nella diluizione di questo materiale fino al punto che sia considerato inoffensivo per l'ambiente (scarico nei fiumi, nei laghi e nell'atmosfera).

Un vantaggio e svantaggio del secondo caso è il fatto che sia la natura stessa a compiere questa diluizione: si tratta di un sistema più economico ma si perde il controllo del destino di questi inquinanti e del loro possibile impatto sull'ambiente.

Per capire meglio il problema è importante domandarsi quale sia la distribuzione spaziale e temporale del materiale rilasciato e, dove e in quale forma e quantità si depositi sulla superficie terrestre.

I “modelli” per la qualità dell'aria giocano un ruolo importante nel rispondere a queste domande. Insieme all'osservazione questi offrono una utile interpretazione dei processi chimici e fisici che sono coinvolti nella dispersione, trasformazione e deposizione degli inquinanti. Ancora, sono indispensabili nella pianificazione dei siti industriali, nell'attribuzione delle concentrazioni provocate da agenti quali traffico, fonti industriali, fonti nazionali e straniere.

Il tempo di permanenza degli inquinanti nell'atmosfera può variare da poche ore fino a molti anni così come la scala spaziale da analizzare varia da pochi chilometri fino ad una scala globale. La non stazionarietà e non omogeneità (turbolenza) dei processi di trasporto ne complica ulteriormente l'inquadramento. È per questo che si ricorre a dei modelli di qualità dell'aria.

Qui infatti si descriverà infatti il trasporto dell'inquinante per mezzo del vento e delle turbolenze dopo di che si passerà a vedere i processi di rimozione.

#### ***2.4.1 Trasporto dell'inquinante***

Circa tutto l'inquinamento è presente in un solo strato sottile adiacente alla superficie. L'azione del vento può essere interpretata attraverso delle equazioni dinamiche che descrivono il flusso dell'aria nelle varie aree territoriali o da sole misurazioni. Il primo metodo ha comunque bisogno di dati raccolti tramite osservazione in grado di specificare i confini e lo stato delle condizioni iniziali. È necessario conoscere il raggio e la velocità del vento.

- Con un raggio inferiore a 50 km, statisticamente i modelli di trasporto assumono che il vento sia costante ed uniforme. Bisogna sapere la velocità del vento e i dati meteorologici;
- Con un raggio compreso tra i 50 e 500 km i modelli sono molto complicati poiché il vento varia nello spazio e nel tempo. È necessario conoscere dati meteorologici ottenibili tramite metodi di osservazione. Se mancano dei dati si utilizza generalmente la media. A dieci metri di altezza, come si può notare nell'immagine, vi sono differenze per quanto riguarda la velocità e la direzione;
- In un raggio maggiore di 500 km i modelli di trasporto richiedono un network di dati meteorologici inferiore poiché per via delle variazioni di tempo e superficie ne confondono l'interpretazione. In questo caso i dati vengono raccolti con radio sonde e sono percepibili ogni 6 – 12 ore.

Le *turbolenze* invece sono interpretabili come dispersioni del vento che fuoriescono dal flusso principale. Si tratta di movimenti di potenza inferiore. Hanno una scala temporale e di superficie inferiore al flusso principale. Una descrizione di questi movimenti avviene solo in chiave statistica. Una difficoltà proviene dal fatto che la nuvola di inquinanti in base alla sua grandezza ed in relazione alla dimensione del flusso d'aria della turbolenza gioca un ruolo nella sua stessa dispersione

Per quanto riguarda la dispersione dell'inquinamento dell'aria sembra essere utile analizzare i casi in base alla dimensione della concentrazione di inquinante, alla sua velocità e al suo raggio di movimento.

- Il raggio di dispersione inferiore a 50 km e con velocità di viaggio pari a 1-2 ore comportano condizioni considerabili stazionarie. Nonostante le condizioni di movimento orizzontali siano omogenee, le turbolenze in vicinanza della superficie terrestre non sono omogenee. Infatti vi sono diversi coefficienti di dispersione per quanto concerne la superficie;
- Per quanto riguarda un raggio compreso tra i 50 e i 500 km, le turbolenze non sono né omogenee né stazionarie. Vi sono differenze tra giorno e notte. In ogni caso la descrizione della diffusione per raggi di questa portata è complicata;
- Nella diffusione in campi maggiori di 500 km i modelli sono generati a computer.

#### **2.4.2 I processi di rimozione**

NO<sub>2</sub> ed NO hanno tempi brevi di permanenza in atmosfera (3-4 giorni) e vengono eliminati naturalmente, componenti delle deposizioni acide (gli NO<sub>x</sub> concorrono per il 30% circa alle deposizioni acide totali. In pratica, è bene ricordare che la pioggia e altre precipitazioni naturali (neve, grandine, brina ecc.) lavano l'aria e rimuovono efficacemente gli inquinanti atmosferici.

Tutti i processi che prelevano gli inquinanti dall'atmosfera possono essere considerati processi di rimozione.

La superficie della terra si comporta da più importante serbatoio di inquinanti.

Si possono distinguere i seguenti processi:

- La *caduta di particelle dovuta a gravitazione (sedimentazione)*. Questo meccanismo di rimozione non viene preso in considerazione per particelle inferiori circa a 1 µm. Le particelle che acquistano velocità per accelerazione gravitazionale sono normalmente più larghe di uno o due ordini di grandezza;
- Il *deposito umido*, dove si distingue il *rain-out* – piogge radioattive e il *wash-out* – erosione del suolo prodotta dalle piogge. Il primo, avviene nei processi di formazione delle nuvole dove, le particelle si possono considerare come nuclei di condensazione. Quando le gocce d'acqua si sono formate, l'inquinamento dell'aria si scioglie in acqua. Nel secondo caso accade che le gocce più grandi cominciano a cadere e lasciare le nuvole, passano attraverso uno strato di inquinamento e



assorbono parte dell'inquinante. Scaturisce un problema ambientale legato al deposito umido cioè quello legato alle piogge acide;

- Nel *deposito asciutto* i materiali gassosi assorbono e reagiscono chimicamente al livello di superficie. Per quanto riguarda i modelli di studio, questo processo viene descritto in base alla velocità di deposizione.<sup>23</sup>

## 2.5 Gli effetti ecologici dovuti agli NOx

Gli inquinanti atmosferici attaccano gli organismi viventi in modi diversi: interagendo direttamente con l'atmosfera oppure passando attraverso depositi secondari come l'acqua o il suolo. La maggior parte degli inquinanti gassosi viene assorbita molto facilmente da animali e piante. I trasporti fisici giocano un ruolo importante nell'assorbimento degli inquinanti dagli esseri viventi. Le caratteristiche dell'organismo influiscono sull'assorbimento dell'inquinamento, e possono variare moltissimo da organismo ad organismo in relazione alla specie, allo stato nutrizionale, alle attività fisiologiche e da tanti altri fattori.

L'intero ecosistema nella sua immensa complessità a partire dalla popolazione umana fino ai micro organismi possono essere vittima della pressione dell'inquinamento e dunque anche dai componenti NOx.

Si è visto come gli effetti provocati dai gas di ossido di azoto, specialmente gli NO<sub>2</sub> combinati con altri inquinanti dell'aria, riducano direttamente la produttività delle piante. Anche la diminuzione della crescita e della vitalità è un effetto della deposizione di acido nitrico e nitrati sulla vegetazione e sul suolo. In generale la riduzione della crescita delle piante è uno dei principali effetti che, di conseguente si rifletterà sui "consumatori" di piante e così via. Le concentrazioni presenti in atmosfera avranno un effetto diretto sugli animali. Gli organismi sono però anche in grado di adattarsi alla nuova situazione ambientale creando dei sistemi di difesa per evitare la contaminazione da parte di inquinanti. Vi sono anche effetti indiretti sugli animali da parte delle precipitazioni acide contenenti NH<sub>3</sub><sup>-</sup> come ad esempio nel caso dei pesci d'acqua dolce che vengono uccisi dal nuovo pH dell'acqua. Di conseguenza i predatori di queste specie che tendono a diminuire ne subiscono le conseguenze. Molte piante acquatiche soffrono il cambiamento di pH dell'acqua con il risultato che molte specie scompaiono rompendo così gli equilibri dell'ecosistema.

Si può dunque puntualizzare dicendo che vi siano effetti sulla vegetazione che, come abbiamo detto sopra, soffre a causa dell'esposizione agli NOx nonostante sia difficile valutare separatamente gli effetti dei vari inquinanti contemporaneamente presenti nell'aria (inquinanti secondari, ossidanti fotochimici ecc). Si sono verificati danni alla vegetazione nei pressi di impianti di produzione di acido nitrico. In laboratorio, è possibile riprodurre gli effetti dannosi utilizzando fumigazioni con NOx in serre: una concentrazione di 1

---

<sup>23</sup> *Reactive nitrogen in the troposphere*. Chemistry and transport of NOx. Singh, H.B., 1987. Environm. Sci. Technol

ppm di NO<sub>2</sub> è sufficiente per provocare necrosi fogliare. Come anticipato, avviene una diminuzione della fotosintesi (misurata come ridotto assorbimento di CO<sub>2</sub>) del 60-70% per esposizione a 10 ppm di NO; l'effetto sembra reversibile. Concentrazioni ridotte ma esposizioni prolungate hanno anch'esse effetti misurabili, quali il cambio di pigmentazione e la successiva caduta delle foglie. Oltre agli effetti diretti riassunti sopra occorre ricordare quelli indiretti, collegabili alle piogge acide.

In generale quindi si può concludere che gli NO<sub>x</sub> siano una reale minaccia per gli organismi viventi e che l'aumento della loro concentrazione tenderà a cambiare l'ambiente.

In particolare, gli *effetti sugli animali* si basano su degli studi sulla mortalità degli stessi che indicano che la tossicità di NO<sub>2</sub> è quattro volte maggiore di quella dell'NO. Gli effetti dell'ossido di azoto sono narcotici a basse dosi, e di paralisi del sistema nervoso centrale ad alte dosi.

Quelli del biossido di azoto sono principalmente dovuti alle caratteristiche acide della molecola: l'effetto si manifesta come edema polmonare conseguente all'irritazione acida, con difficoltà di respirazione ecc. concentrazioni superiori a 100 ppm di NO<sub>2</sub> sono letali per la maggior parte della specie animali.

Alcune attività professionali ( nitratura della cellulosa, saldatura ad arco, esposizione a fumi di combustione di nitrocellulosa ecc.) comportano rischi di esposizione agli NO<sub>x</sub>.

Molto importante è anche l'*effetto sui materiali* dove la presenza nell'aria di alte concentrazioni di NO<sub>x</sub> causa lo sbiadimento dei colori e dei tessuti e la perdita di resistenza delle fibre, specie quelle di nylon; inoltre si possono verificare effetti corrosivi su materiali e leghe metalliche (nichel, ottone). Sono stati dimostrati danni di questo tipo a centraline telefoniche che hanno avuto i contatti elettrici danneggiati.<sup>24</sup>

## **2.6 La riduzione degli NO<sub>x</sub> e le tecnologie di abbattimento**

La discussione riguardo la formazione chimica di NO<sub>x</sub> e gli aspetti fisici porta ad occuparci del potenziale delle tecniche di riduzione degli stessi.

La situazione è complicata dal fatto che esistono "Thermal NO<sub>x</sub>", che derivano dall'azoto atmosferico combinato con l'ossigeno per effetto di alte temperature, ma anche "Fuel NO<sub>x</sub>" che si originano dall'azoto contenuto nei combustibili adoperati; in questo secondo caso sono poco efficaci i metodi di controllo delle condizioni di combustione.

I Thermal NO sono fortemente dipendenti dalla temperatura e meno dalla pressione parziale dell'ossigeno. Generalmente ci sono quattro fattori da cui i Thermal NO<sub>x</sub> dipendono ( in parte anche i Prompt NO<sub>x</sub>):

- la temperatura effettiva di combustione;

---

<sup>24</sup> *Health effects of tropospheric ozone*, Tilton B.E., 1989. Environ. Sci. Technol.

- la pressione parziale dell'ossigeno (la ricircolazione del fluido gassoso);
- il rapporto stechiometrico;
- il tempo di permanenza ad alte temperature (superiori ai 1300°C).

Abbassare la temperatura di combustione è la più efficace misura di riduzione di emissioni da NOx.

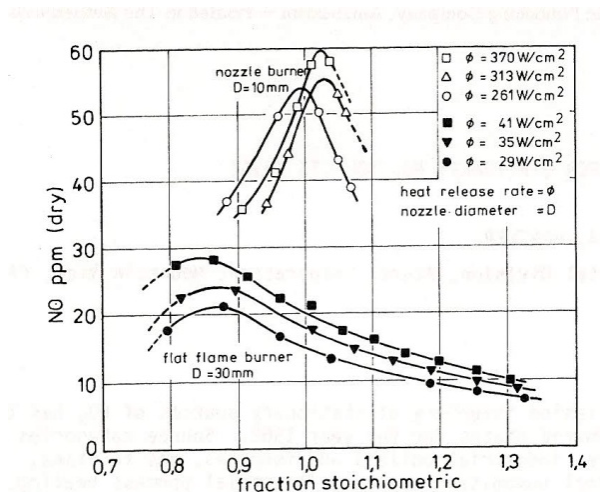


Figura 3. Emissioni di NO prodotte in rapporto alla frazione stechiometrica (Shneider, 1982).

La figura 3 mostra un confronto tra le emissioni emesse da una fiamma premiscelata raffreddata e non raffreddata. Ne risulta che una fiamma direttamente raffreddata è molto efficace nella diminuzione delle emissioni di NOx. Le pressioni parziali di ossigeno possono essere ridotte con successo per mezzo della ricircolazione dei prodotti di combustione abbassando allo stesso tempo le temperature di combustione.

Per quanto riguarda le emissioni di fuel NOx possono essere ridotte dall'abbassamento della pressione parziale di ossigeno, dall'abbassamento della temperatura di fiamma e dalla preparazione del combustibile.

Gli ossidi di azoto preoccupanti per l'ambiente sono gli NO<sub>2</sub>. Come abbiamo detto, questi sono terribili inquinanti che portano alla formazione di piogge acide e ozono troposferico. Un altro composto pericoloso è l'N<sub>2</sub>O che si trova nella stratosfera dove gioca un ruolo di gas serra.

La normativa sul restringimento dei NOx ha generato il bisogno per lo sviluppo di tecnologie di abbattimento. Oggi sono disponibili molte tecniche per controllare le emissioni di NOx. Le emissioni antropiche di NOx presentano vari effetti negativi sull'ecosistema e sulla salute umana, come l'Acidificazione, Eutrofizzazione, aumento del livello di ozono, perdita della biodiversità. Le emissioni globali di NOx hanno seguito una crescita esponenziale anche se negli ultimi anni questa è rallentata. In ogni caso le riduzioni avvenute in Europa e USA sono state raggiunte dalla crescita economica dei paesi asiatici. Crescita economica e consumo energetico hanno prodotto un elevato aumento di NOx in atmosfera.

Per controllare e ridurre le emissioni inquinanti è possibile intervenire con *tecnologie primarie*, volte alla riduzione delle emissioni, oppure con *tecnologie secondarie*, volte al successivo abbattimento degli NOx presenti nei fumi.

Oltre che dalla varietà di combustibili, la soluzione al problema delle emissioni è resa difficile dalla varietà delle fonti d'emissione (fisse e mobili), degli apparecchi di combustione, e delle diverse temperature d'esercizio usate (centrali termoelettriche o centrali di riscaldamento domestico).

### 2.6.1 Riduzione delle emissioni di NOx (tecnologie primarie)

Considerando dapprima le tecnologie primarie si ricorre a modifiche del rapporto stechiometrico aria/combustibile; in figura 4 si vede dalla curva relativa alle emissioni di NOx in funzione del rapporto stechiometrico aria/combustibile.

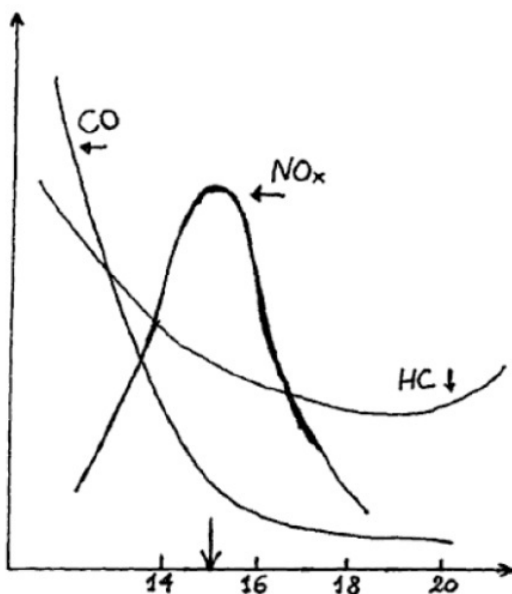


Figura 4. Emissioni di OC, HC ed NOx (asse y, non in scala, in ppm) in funzione del rapporto aria/combustibile (asse x) nei motori a combustione intern., (Zonta-Masotti, 2003).

Risulta che le emissioni di NOx sono massime in coincidenza col valore corretto del rapporto stechiometrico. Effettuando la combustione in difetto d'aria (basso rapporto aria/combustibile) si possono ridurre le emissioni di NOx, ma aumentano molto le emissioni di CO.

Viceversa, un grande eccesso d'aria, determina l'aumento delle emissioni di HC incombusti, oltre alla riduzione della temperatura di fiamma e dell'efficienza della combustione.

In leggero eccesso d'aria invece, le emissioni di NOx si possono ridurre del 15-20% senza inconvenienti di rilievo.

Queste tecniche si sono rivelate particolarmente interessanti per l'efficienza legata all'economicità di

esercizio: non considerano il sistema come un semplice combustore, bensì come un vero e proprio reattore chimico sul quale è possibile intervenire direttamente al fine di abbattere la produzione di inquinanti nel momento stesso della loro formazione.

La formazione di NO<sub>x</sub> dipende fortemente dalla temperatura di combustibile e dalla stechiometria del sistema, ed in maniera più blanda dai tempi di contatto.

Nel caso di gas naturale e di olio con un basso tenore di azoto, gli NO<sub>x</sub> si formano ad alta temperatura dall'azoto presente nel fuel e dall'ossigeno dell'aria di combustione.

Modificando il modo in cui viene condotta la combustione è possibile ridurre le emissioni di ossido di azoto riducendo, ad esempio l'ossigeno disponibile nello stadio critico l'ossigeno della combustione, abbassando i picchi della temperatura di fiamma e riducendo il tempo di fiamma e riducendo il tempo di contatto durante il quale avviene l'ossidazione dell'azoto.

Varie sono le opportunità tecniche che consentono di ottenere queste condizioni operative: fra queste le più interessanti sono:

- *Air stagning* (combustione con aria introdotta a stadi);
- *Fuel stagning* (combustione con aria e combustibile introdotti a stadi);
- *Ricircolazione dei gas combusti* (FGR);
- *Bruciatori a basso NO<sub>x</sub>*.

Si può ricorrere alla *combustione a due stadi, o a due fasi (air stagning)*, che si attua operando dapprima in difetto di ossigeno (che è quindi carente per ossidare l'azoto) e iniettando aria nella seconda fase per completare la combustione del CO prodotto nella prima fase. E' il metodo più efficace, da usare con bruciatori appositi, e consente la riduzione del 60-70% delle emissioni di Thermal NO<sub>x</sub>; è limitatamente efficace anche per i Fuel NO<sub>x</sub>.

Una tecnica che assume sempre più interesse pratico è il processo di *ricircolazione dei gas nella camera di combustione (fuel stagning o reburning)* che tende a ridurre la quantità di NO<sub>x</sub> già formata, abbassa la quantità d'aria ed anche la temperatura di fiamma. Viene utilizzata soprattutto per i motori d'auto e in caldaie a gas munite di ventilatore di ricircolazione. Con questo sistema si intende modificare il sistema di combustione in due zone distinte, una prima insieme con l'aria necessaria all'ossidazione, una seconda senza aria. Si crea così una zona sottostechiometrica che favorisce la formazione di azoto molecolare. Questa tecnica consente di ottenere basse emissioni di azoto quando viene utilizzato per la ricombustione gas naturale ma si raggiungono buoni risultati anche per combustibili fossili; l'accoppiamento della tecnica del Fuel Stagning con la riduzione selettiva non catalitica, viene denominato *Reburning avanzato*: in questo modo si sfrutta l'effetto sinergico delle due tecnologie.

Un metodo per ridurre la temperatura in caldaia, e quindi ridurre la formazione di NO<sub>x</sub> termici a scapito dell'efficienza termica del processo e nello stesso tempo per diminuire la concentrazione dell'ossigeno

nell'aria comburente è il *riciclo dei gas di combustione (Flue Gas Recirculation)*. Generalmente viene utilizzata tra il 10 e il 20% dei fumi in uscita con efficienza di riduzione sugli NOx termici emessi variabilmente tra il 60 e il 70% quando vengono immessi direttamente nella zona di fiamma.

Un'altra tecnologia che può essere definita primaria è l'utilizzo di *Bruciatori a basso NOx*. Questi bruciatori sono progettati per realizzare internamente alla stessa una combustione a stadi introducendo combustibile ed aria in modo tale da ritardare il miscelamento, ridurre la disponibilità di ossigeno e diminuire il picco di temperatura di fiamma.<sup>25</sup>

### **2.6.2 Abbattimento delle emissioni di NOx (tecnologie secondarie)**

E' possibile intervenire anche dopo la formazione degli NOx, abbattendo la loro presenza nei fumi. In tal caso, si attua di solito la riduzione degli NOx ad azoto elementare.

Nel caso delle fonti mobili, in altre parole delle emissioni legate ai trasporti, si utilizza la *marmitta catalitica* che converte i gas di scarico in composti meno inquinanti. Nei casi di malfunzionamento, la riduzione degli NOx può essere troppo spinta ed originare ammoniaca, oppure, se la temperatura è troppo bassa (partenze a freddo) può formarsi protossido d'azoto.

Per abbattere gli NOx presenti nelle emissioni da impianti fissi si impiegano invece sistemi di assorbimento: soluzioni acquose alcaline sono in grado di assorbire gli NOx; soluzioni acide (acido solforico) sono in grado di rimuovere contemporaneamente SOx ed NOx, ma sono inefficaci in presenza di soli NOx.

È inoltre possibile utilizzare una reazione chimica in fase gassosa che sfrutti un riducente selettivo per gli NOx e non reattivo con l'ossigeno presente in eccesso (che consumerebbe tutto il reagente).

Le tecniche secondarie si distinguono in:

- *SNCR* Riduzione Selettiva Non Catalitica;
- *SCR* Riduzione Selettiva Catalitica.

Le SNCR sono tecniche di abbattimento che richiedono l'iniezione di un agente promotore nella zona di postcombustione. I sistemi SNCR si differenziano tra loro per l'agente riducente utilizzato; i più importanti a disposizione commercialmente vengono denominati:

- *Thermal DeNOx*: processo in cui viene iniettata ammoniacca;
- *NOxOut*: processo in cui viene iniettata urea;

---

<sup>25</sup> *Formazione e riduzione degli ossidi di azoto*, Andrea Antichi e Claudia Collierotti, tesi di laurea, Politecnico di Milano, A-A 1994-1995.

- *RAPRENOx*: processo in cui viene iniettata acido cianurico;
- *DeNOx EMCOTECK a due stadi*: processo in cui viene iniettata una miscela urea/metanolo.

La *Thermal DeNOx* è una tecnica di riduzione secondaria che comporta l'utilizzo di ammoniaca in zona di postcombustione per favorire la riduzione degli ossidi di azoto formati in zona primaria.

L'iniezione di questo agente riducente non può avvenire perché in condizione operative ben definite: l'ossigeno deve essere presente in eccesso e la "finestra" di temperatura è piuttosto ristretta ed oscilla tra i 1150 e i 1450 K. Al di sotto di questa temperatura critica spesso l'iniezione di ammoniaca non è assolutamente efficace, mentre al di sopra del limite critico si ha addirittura un aumento degli ossidi di azoto in quanto viene ossidata a NOx anche l'ammoniaca. Inoltre se la concentrazione di ammoniaca è dell'ordine di quella dell'ossigeno, l'efficienza nell'abbattimento cala sensibilmente.

In aggiunta all'ammoniaca possono essere introdotti altri agenti promotori della riduzione degli NOx quali, ad esempio, idrogeno e perossido di idrogeno. Questo comporta semplicemente uno spostamento dell'intervallo di temperatura a cui si può condurre il processo senza però apportare nessuna sostanziale variazione di ampiezza di quest'ultima. L'aggiunta di acqua, invece, non comporta alcuna variazione significativa nell'abbattimento degli ossidi di azoto. Questa tecnica applicata a caldaie e turbine a gas, consente una riduzione degli NOx fino al 70 - 80% purchè si operi all'interno della "finestra" di temperatura prima citata; di minore entità invece, è l'abbattimento nel caso in cui si applichi a caldaie alimentate a carbone o ad olio oppure ad inceneritori urbani dove oscilla tra 40 e 60 %. L'utilizzo di ammoniaca permette anche di controllare le emissioni di anidride solforosa, formatasi durante l'ossidazione dello zolfo chimicamente legato al fuel: un leggero eccesso di ammoniaca reagisce, infatti, con SO<sub>2</sub> a dare i soli ammoniacali; in realtà in questo modo questi composti sottoforma di polveri vanno ad intasare alcune parti delle apparecchiature utilizzate ed ancora si corre il rischio di avere indesiderate emissioni di ammoniaca non reagita che provocano cattivi odori, sporcizia e problemi di sicurezza.

Nella *NOx OUT* analogamente a quanto visto per il processo di *Thermal DeNOx* avviene l'iniezione di urea nel sistema secondo la tecnologia del *NOx OUT* permette la conversione degli ossidi di azoto in azoto molecolare ed acqua.

L'iniezione di urea ha una grande efficienza sulla riduzione degli NOx quando il processo viene condotto in un intervallo di temperatura compreso tra i 1200 e 1300 K; questo intervallo si amplia da 1100 a 1450 K, grossomodo lo stesso intervallo operativo visto per il processo *Thermal NOx*. Generalmente si utilizza una soluzione acquosa di urea al 50% ma molto spesso si riesce a scendere a valori più bassi, intorno al 40%; la concentrazione ottimale di urea e degli altri agenti promotori dipende in ogni caso dalla temperatura di esercizio. In questo processo, si possono formare tracce di ammoniaca, che a sua volta può dare luogo a tutte le reazioni viste prima per il processo *Thermal NOx* comprese anche quelle indesiderate di formazione di soli ammoniacali. Esiste inoltre un limite ben preciso all'applicabilità di questa tecnologia a processi che non presentano grandi variazioni di carico o per turbine a gas.

L'abbattimento degli NOx varia tra 20 e 60 % nella migliore delle ipotesi.

Nel caso della tecnologia *RAPRENOx* l'agente promotore della riduzione degli ossidi di azoto è l'acido cianurico.

Quest'ultimo, anch'esso ad alte temperature, si può decomporre sia in fase di gas sia su superfici solide dando inizio ad un meccanismo che porta alla riduzione degli ossidi di azoto. Recenti studi (Caton e Glarborg '94) hanno dimostrato che l'efficienza del processo dipende dalla composizione della corrente gassosa e la finestra di temperatura varia tra i 1100 e 1300 K ed al variare del rapporto molare urea rispetto a NOx. Le emissioni di ammoniaca si attestano a valori molto bassi (5ppm) quando la temperatura dei gas in uscita è superiore ai 1150 K.

La *SCR* (Riduzione selettica catalitica) consiste nell'aggiungere ai gas combusti un agente riducente, generalmente ammoniaca, e far passare questi su un opportuno catalizzatore. Il trattamento dei gas mediante SCR prevede la conversione di questi in azoto molecolare ed acqua.

A seconda della posizione del reattore catalitico nell'ambito del processo si distinguono tre tipi di configurazione:

- High Dust, HD (dopo l'economizzazione);
- Low Dust, LD (dopo la rimozione del particolato);
- Tail End, TE (dopo l'abbattimento degli ossidi di zolfo).

Questa tecnologia permette di lavorare a temperature sensibilmente inferiori a quelle del processo SNCR (ca. 600 K), con ottime prestazioni in termini di efficienza e selettività, ottenendo riduzioni di NOx fino al 90%. Il grosso inconveniente dipende dal costo dei catalizzatori e dalla manutenzione degli stessi; per questo si adattano queste tecniche soltanto nei casi in cui i processi privi di catalizzatori non diano i risultati voluti.

Esistono altre *tecnologie di riduzione* come ad esempio la *Flue Gas Denitrification*, un sistema di abbattimento che utilizza degli scrubbers ad umido nei quali si fa avvenire la reazione tra NO e SO<sub>2</sub> adsorbito per produrre azoto. L'ossido di azoto è però insolubile in acqua e quindi vengono aggiunti al sistema degli additivi chimici, quali agenti chelanti ferrosi solubili in acqua, oppure ozono. Tra gli svantaggi che può presentare un processo di questo tipo si possono annoverare, ad esempio, l'uso dei composti chimici costosi, un grande consumo di acqua e diversi tenori di SO<sub>2</sub> che possono essere emessi a seconda del fuel che viene utilizzato. Recenti studi condotti su scala pilota, che hanno affrontato l'utilizzo di differenti additivi mostrano come la % di NOx abbattuti può arrivare fino al 70-90%. Allo stato attuale, l'applicazione di questa tecnologia ha avuto successo principalmente in sistemi che sfruttano combustibili a base di carbone.

La tecnologia cosiddetta a *fascio di elettroni* è una tra le più recenti ed innovative; si opera facendo reagire ammoniaca o calce con NOx e SO<sub>2</sub> sotto un fascio di elettroni che fornisce energia necessaria per far avvenire la reazione. La temperatura alla quale si lavora sono molto più basse di quelle utilizzate nei processi



SCR ed SNCR e tramite l'utilizzo di un filtro a tela è possibile effettuare la rimozione dei reagenti. Attualmente però questa tecnologia richiede costi, energie e capitali ancora proibitivi.

Vi sono dei criteri per valutare la gestione degli inquinanti in caldaia. I criteri di scelta *Reasonably Available Control Technologies (RACT)*<sup>26</sup> richiedono sia valutazioni di carattere processistico sui fattori predominanti nella formazione degli inquinanti in caldaia, sia di carattere impiantistico sull'effettiva possibilità di modificare il processo, nonché valutazione di carattere economico e legislativo: i processi di trattamento dei fumi sono in generale costosi ma permettono di raggiungere valori di emissione molto bassi ai quali non si arriverebbe con le sole modifiche al processo di combustione.<sup>27</sup>

<b>Tecnologie primarie: modifiche dei processi di combustione</b>	<b>Tecnologie secondarie: trattamento dei fumi di combustione</b>
Combustione in basso eccesso d'aria	Marmitta catalitica ( per fonti mobili)
Combustione a due stadi (air staging)	Sistema di assorbimento dei fumi (per fonti fisse)
Ricircolazione dei gas di combustione (fuel staging)	Riduzione selettiva, non catalitica, degli NOx, (Thermal-De Nox) con NH <sub>3</sub>
Iniezione di acqua o di vapore	SCR (Selective Catalitic Reduction) con NH <sub>3</sub>
Riduzione del preriscaldamento d'aria	NOx – Out, riduzione con urea
Riduzione dei carico caldaia	
Disegno speciale camera di combustione	
Disegno speciale bruciatori	
Inseriti di combustione	

Tabella 9. Tabella riassuntiva delle tecnologie primarie e secondarie per la riduzione e abbattimento delle emissioni NOx, (Zonta, Masotti, 2003).

<sup>26</sup> Reasonably Available Control Technology (RACT) è un standard per il controllo dell'inquinamento creato da Environmental Protection Agency, ed è utilizzato per determinare quale tecnologia si deve utilizzare per controllare uno specifico inquinante per permettere di rispettare i limiti previsti dalla legge.

<sup>27</sup> *Formazione e riduzione degli ossidi di azoto*, Andrea Antichi e Claudia Collierotti, tesi di laurea, Politecnico di Milano, A-A 1994-1995.

## **2.7 Concentrazioni atmosferiche e Normativa**

### **2.7.1 Concentrazioni naturali di base**

I valori di concentrazione degli inquinanti atmosferici possono essere espressi in parte per milione in volume su volume (ppm, v/v) oppure in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vale 2000, ovvero 0,1 ppm equivalgono a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le concentrazioni di NO<sub>x</sub> in aree rurali non inquinate (NO<sub>x</sub> da fonti naturali) sono circa pari a 0,002 e 0,004 ppm rispettivamente per NO ed NO<sub>2</sub>.

### **2.7.2 Concentrazioni di punta in aree inquinate**

Nelle atmosfere urbane si raggiungono a volte concentrazioni più di 100 volte superiori a quelle naturali, dell'ordine di 0,5 ppm (=  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) di NO<sub>2</sub> e 1-2 ppm di NO.

Sommando i contributi dovuti ai trasporti con quelli derivanti dalle centrali elettriche e agli impianti di riscaldamento, risulta ovvio che le concentrazioni di punta sono raggiunte nei mesi invernali.

### **2.7.3 Concentrazioni massime ammissibili**

I valori limite delle concentrazioni (e la soglia di allarme) relativi agli ossidi di azoto (con riferimento al biossido, NO<sub>2</sub>) nell'aria ambiente sono stati fissati dalla Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo, e precisamente:

- Il valore limite medio nell'anno è pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,02 ppm v/v);
- Il valore limite nell'arco di un'ora è pari a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,1 ppm v/v), da non superare più di 18 volte all'anno; tali limiti entreranno in vigore nel 2010; i valori attuali hanno un margine di tolleranza del 50% in più che verrà gradualmente ridotta a zero nel 1° gennaio 2010.

In Italia, la Direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, è stata recepita da DM n. 60 del 2002. Al Capo III, Art. 13 - Valori limite, margini di tolleranza, soglia di allarme e termini per quanto riguarda gli ossidi di azoto.

Nella Tabella 10 è mostrato l'Allegato II del decreto che esprime:

- I valori limite per il biossido di azoto e gli ossidi di azoto. I valori limite devono essere espressi in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il volume deve essere normalizzato ad una temperatura di 293 K e ad una pressione di 101,3 kPa;
- Soglia di allarme per il biossido di azoto.  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno  $100 \text{ km}^2$  oppure in un'intera zona o un intero agglomerato completi, nel caso siano meno estesi;

- Informazioni che devono essere fornite al pubblico in caso di superamento della soglia di allarme per il biossido di azoto. Le informazioni da fornire al pubblico devono comprendere almeno: data, ora e luogo del fenomeno e la sua causa, se nota e previsioni sulle variazioni dei livelli (miglioramento, stabilizzazione o peggioramento), nonché i motivi delle variazioni stesse, sulla zona geografica interessata, sulla durata del fenomeno, le categorie di popolazione potenzialmente sensibili al fenomeno e le precauzioni che la popolazione sensibile deve prendere.

	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto</b>
1. Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{NO}_2$ da non superare più di 18 volte per anno civile	50% del valore limite, pari a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore e' ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante per raggiungere lo 0% al 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{NO}_2$	50% del valore limite, pari a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore e' ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
3. Valore limite annuale per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{NO}_x$	Nessuno	19 luglio 2001

*Tabella 10. Allegato II - valori limite per il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ) e per gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) e soglia di allarme per il biossido di azoto. (DM n. 60, 2002).*

### ***3. Impianti a confronto: l'influenza dei combustibili e dei sistemi di combustione sulle emissioni inquinanti***

Dal confronto di diversi tipi di impianti dotati di diversi bruciatori e diverse potenze termiche, in diverse condizioni di esercizio e diverse condizioni di carico, emergere un diverso tenore di produzione di emissioni. È risultato da parecchi studi che le prestazioni emissive degli apparecchi convenzionali risultano qualitativamente inferiori.

#### ***3.1 Introduzione***

La maggiore consapevolezza dell'importanza della protezione dell'ambiente ed i possibili impatti dovuti all'impiego di combustibili per la produzione di energia termica ed elettrica hanno accresciuto l'interesse verso lo sviluppo di metodi atti a comprendere meglio e a ridurre tali impatti.

Il problema dell'inquinamento atmosferico, in particolare, è stato oggetto di molteplici indagini, finalizzate alla tutela della salute umana e dell'ambiente. Una marcata sensibilizzazione a livello nazionale ed internazionale ha portato al raggiungimento di accordi e alla promulgazione di leggi e provvedimenti che disciplinano l'immissione di inquinanti nell'atmosfera.

I tre ambiti unanimemente riconosciuti responsabili dell'alterazione nella composizione dell'aria sono il settore dei trasporti, il settore industriale e quello civile: il contributo di quest'ultimo è oggetto del presente studio.

L'inquinamento urbano da riscaldamento è determinato dalla combustione, negli impianti termici, di combustibili fossili (gas naturale, gasolio, olio combustibile, ecc).

Allo scopo di limitare tale contributo, le amministrazioni locali e i Governi nazionali hanno emesso decreti legislativi e/o normative, di cui il più recente e più ampio è il Dpcm 8/10/2004 (Modifica del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 marzo 2002, recante: «Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione». GU n. 295 del 17-12-2004) *“Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico”*. Con tale provvedimento, certamente uno dei più importanti degli ultimi anni, si regola l'impiego dei vari combustibili in ambito civile e industriale.

Una quota di diffusione marginale hanno ancora i combustibili derivanti da fonti rinnovabili, anche se alcune statistiche (Ministero Attività Produttive) riportano l'uso di altre biomasse per quantitativi non trascurabili. E' da rilevare però che esse hanno applicazioni più circoscritte e quindi non possono essere considerate un combustibile da tenere presente nell'ambito di valutazioni di carattere generale.

Alcuni combustibili di origine minerale, come il gas naturale, godono di provvedimenti che ne favoriscono la diffusione; altri sono oggetto di provvedimenti restrittivi, altri ancora, come le emulsioni acqua-idrocarburi o il biodiesel, restano troppo spesso confinati a quote di mercato irrilevanti.

A questo riguardo va sottolineato che non esiste alcun combustibile che possa essere giudicato migliore o peggiore di un altro in senso assoluto. Esistono situazioni contingenti, contesti particolari in cui, attenendosi ad incontrovertibili dati scientifici, può risultare vantaggioso dal punto di vista ambientale, sanitario ed energetico bruciare negli impianti un combustibile rispetto ad un altro. Non solo la natura del combustibile, ma anche i generatori di calore destinati al riscaldamento degli edifici e alla produzione di acqua calda, rivestono un ruolo di primaria importanza nella limitazione delle emissioni inquinanti.<sup>28</sup>

L' esame e la valutazione dei molteplici aspetti connessi all'inquinamento dovuto al riscaldamento civile è quindi oggetto di ricerca molto importante.

L'obiettivo è quello di valutare il comportamento complessivo dei sistemi impianto/combustibile, ai fini dell'inquinamento ambientale per poter indicare non solo i fattori di emissione connessi alla loro utilizzazione, ma anche effettuare una valutazione oggettiva dell'impatto ambientale derivante dalle emissioni inquinanti ed i rischi per l'ambiente e la salute umana a loro relativi.

A seguito di questa considerazione si riporta l'analisi di alcuni studi sperimentali volti ad analizzare il comportamento degli apparecchi di combustione in relazione alle emissioni prodotte.

SSC e IPASS<sup>29</sup> nel 2002 si sono occupate di svolgere un'indagine riferita all'anno 2001 sull'impatto causato dai combustibili per uso civile. Analogamente ex-CESI Ricerca<sup>30</sup> all'interno di un ampio progetto denominato "GAME"<sup>31</sup> nel 2007 ha elaborato una ricerca sulla caratterizzazione delle emissioni da parte delle caldaie residenziali relativo all'anno 2005, affrontando un Caso Studio per la città di Piacenza.

Tali casi vogliono essere modello di valutazione per la caratterizzazione delle emissioni nei processi di combustione di gas naturale per il riscaldamento civile.

La sperimentazione ha riguardato tipologie impiantistiche rispondenti a una diffusione realistica degli impianti di riscaldamento civile sul territorio nazionale. I risultati delle prove sui combustibili forniscono

---

<sup>28</sup> AEEG, *Contesto Internazionale e Nazionale*, 2009.

<sup>29</sup> "Analisi comparativa di combustibili per uso civile", 2002, Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC) e Consorzio Ingegneria per l'Ambiente e lo Sviluppo Sostenibile (IPASS), Unità operativa dell'Università di Perugia.

<sup>30</sup> Ex-CESI Ricerca oggi è diventato ERSE.

<sup>31</sup> Il progetto GAME "Generazione elettrica ed Ambiente nelle Aree Metropolitane – Prospettive di sviluppo della cogenerazione" intende creare e valutare diversi scenari di produzione di energia elettrica e termica, mediante soluzioni che spaziano dalle tecnologie tradizionali, alla cogenerazione, al teleriscaldamento, nell'area urbana di Piacenza.

importanti elementi di valutazione per quanto riguarda gli effetti prodotti su scala urbana e suburbana, laddove si concentrano immobili di civile abitazione.

L'obiettivo della ricerca è stato quello di inquadrare le caratteristiche degli impianti che rappresentano la composizione del parco impiantistico residenziale nazionale.

### **3.2 Contesto normativo nazionale e comunitario delle caldaie**

Il contesto normativo nazionale e di recepimento comunitario supporta la lotta all'impatto ambientale attraverso una pluri regolamentazione degli apparecchi tecnici e di questi in relazione alle emissioni prodotte.

Le norme stabilite dalle organizzazioni europee competenti si occupano di regolare ogni aspetto quale il progetto, la costruzione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione delle caldaie in modo che ogni situazione sia ben definita e risponda a certe regole obbiettivamente fissate. Nelle norme si fa riferimento a diverse possibilità per classificare le caldaie, le une indipendenti dalle altre, a seconda della finalità descrittiva del documento in esame.

Le norme stabilite dalle organizzazioni europee competenti si occupano di regolare ogni aspetto quale il progetto, la costruzione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione delle caldaie in modo che ogni situazione sia ben definita e risponda a certe regole obbiettivamente fissate.

Nelle norme si fa riferimento a diverse possibilità per classificare le caldaie, le une indipendenti dalle altre, a seconda della finalità descrittiva del documento in esame.

Secondo la normativa, gli apparecchi termici si possono classificare in base a diversi criteri:

- Sistema di aspirazione e scarico;
- Disposizione dei condotti e presenza di un ventilatore;
- Massima pressione ammissibile nel circuito dell'acqua;
- Rendimento di combustione;
- Emissione di inquinanti.

La ripartizione riportata nella norma **UNI 10642 del dicembre 1997** riguardo le caldaie ad uso domestico mette in evidenza tre diversi tipi di apparecchi in base al **sistema di aspirazione e scarico**:

A. *Apparecchi di tipo A*, non previsti per il collegamento a canna fumaria o a dispositivo di scarico dei prodotti della combustione all'esterno del locale in cui l'apparecchio è installato. Il prelievo dell'aria comburente e lo scarico dei prodotti della combustione avvengono nel locale di installazione.

B. *Apparecchi di tipo B*, previsti per il collegamento a canna fumaria o a dispositivo di scarico dei prodotti della combustione all'esterno del locale in cui l'apparecchio è installato. Il prelievo dell'aria comburente avviene nel locale di installazione e lo scarico dei prodotti della combustione all'esterno del locale stesso.

C. *Apparecchi di tipo C*, il cui circuito di combustione (prelievo aria comburente, camera di combustione, scambiatore di calore e scarico dei prodotti della combustione) è a tenuta rispetto al locale in cui l'apparecchio è installato. Il prelievo dell'aria comburente e lo scarico dei prodotti della combustione avvengono direttamente all'esterno del locale.

Mentre le caldaie di tipo A sono ormai in disuso e di concezione superata, le caldaie di tipo B ed in particolare di tipo C sono quelle maggiormente diffuse sul territorio nazionale, con le ultime che acquistano sempre più importanza per motivi legati ad una maggiore sicurezza e una più facile gestione dell'impianto.

Sempre nella norma UNI EN 10642 del dicembre 1997 si opera un'ulteriore distinzione che differenzia i tre tipi di caldaie sopra citati in alcune sotto categorie (si identificano aggiungendo due numeri alla lettera che indica il tipo di apparecchio) e si classificano in base alla disposizione dei condotti e alla presenza del ventilatore.

Il primo numero indica la configurazione del sistema di condotti di scarico dei prodotti della combustione e di aspirazione dell'aria comburente nella camera di combustione, ossia la posizione e l'orientamento dei tubi. La seconda cifra invece è relativa alla presenza o meno di un apparecchio di ventilazione dell'aria (1 per le caldaie senza ventilatore, 2 per le caldaie dotate di un ventilatore posto a valle della camera di combustione e 3 per quelle dotate di ventilatore posto a monte della camera di combustione).

In ultimo si possono incontrare anche altre due lettere come pedici, legate alla presenza o meno di dispositivi di sicurezza e controllo. La sigla AS indica che la caldaia in questione è dotata di un dispositivo di sicurezza di controllo dell'atmosfera, mentre la sigla BS certifica l'installazione sull'apparecchio di un dispositivo di controllo dello scarico dei prodotti della combustione.

*B<sub>11</sub>*: Apparecchio di tipo B con dispositivo rompi - tiraggio antivento non munito di ventilatore.

*C<sub>22</sub>*: Apparecchio di tipo C previsto per il collegamento, a mezzo di due condotti, ad una canna fumaria comune che serve più di un apparecchio (collettiva). La canna fumaria è costituita da un unico condotto in cui avviene contemporaneamente il prelievo dell'aria comburente e lo scarico dei prodotti della combustione. L'apparecchio è munito di un ventilatore a valle della camera di combustione/scambiatore di calore.

*B<sub>11AS</sub>*: apparecchio di tipo B<sub>11</sub> munito di dispositivo di sicurezza di controllo dell'atmosfera.

*B<sub>11BS</sub>*: apparecchio di tipo B<sub>11</sub> munito di dispositivo di sicurezza di controllo dei prodotti della combustione.

La **Direttiva Europea Rendimenti 92/42/CEE**<sup>32</sup> classifica le caldaie ad uso domestico **in base al rendimento** che, individuando classi a 1, 2, 3 o 4 stelle a seconda del rendimento della caldaia fornisce un dato

---

<sup>32</sup> Tale Direttiva è stata modificata dalla DIRETTIVA 2008/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO dell'11 marzo 2008 che in modifica la direttiva 2005/32/CE relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia, appunto la direttiva 92/42/CEE del Consiglio e le direttive del Parlamento europeo e del Consiglio 96/57/CE e 2000/55/CE, per quanto riguarda le competenze di esecuzione conferite alla Commissione.

immediato circa l'efficienza della combustione dell'apparecchio e il grado di avanzamento della sua tecnologia (figura 5).

Se la situazione del mercato del recente passato portava ad incontrare molti modelli di classe 2, negli ultimi anni il progresso tecnologico ha permesso di produrre con una certa predominanza caldaie di classe 3, che oggi rappresentano la categoria più diffusa sul territorio. Non mancano però esemplari di classe 4, principalmente caldaie a condensazione, che quasi sicuramente acquisteranno nel futuro un ruolo sempre più di primo piano.

La maggior parte dei modelli in commercio raggiunge rendimenti che si attestano di poco al di sopra del 90 % in funzionamento di carico termico massimo (figura 5).

Al carico termico minimo esso cala di circa due punti percentuali nei modelli che non permettono l'adeguamento della quantità di aria comburente alla minore quantità di combustibile bruciata, mentre rimane pressoché invariato nelle caldaie in grado di modulare mantenendo il rapporto aria/combustibile vicino al valore ottimale.

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

Figura 5. Classificazione delle caldaie in base al rendimento, (Direttiva Europea Rendimenti 92/42).



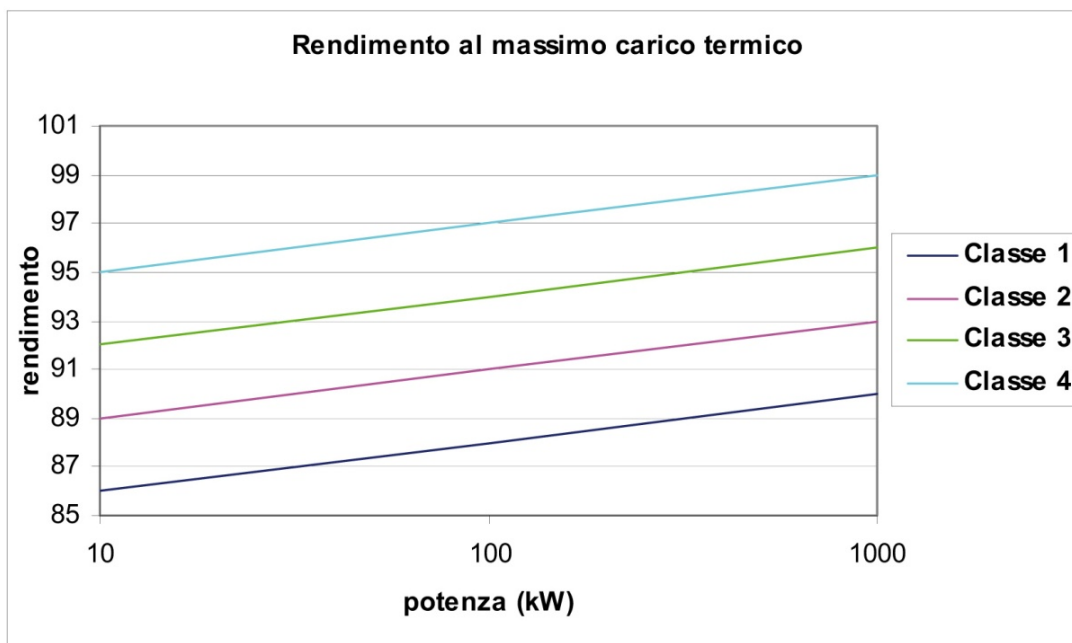


Figura 6. Classi di rendimento termico al variare della potenza delle caldaie per carico termico massimo.

Come si nota dalla figura 6 ed 7, le caldaie domestiche che si attestano su valori di rendimento di poco superiori al 90 %, essendo di potenza variabile tra 24 e 35 kW, rientrano per lo più nella classe 3.

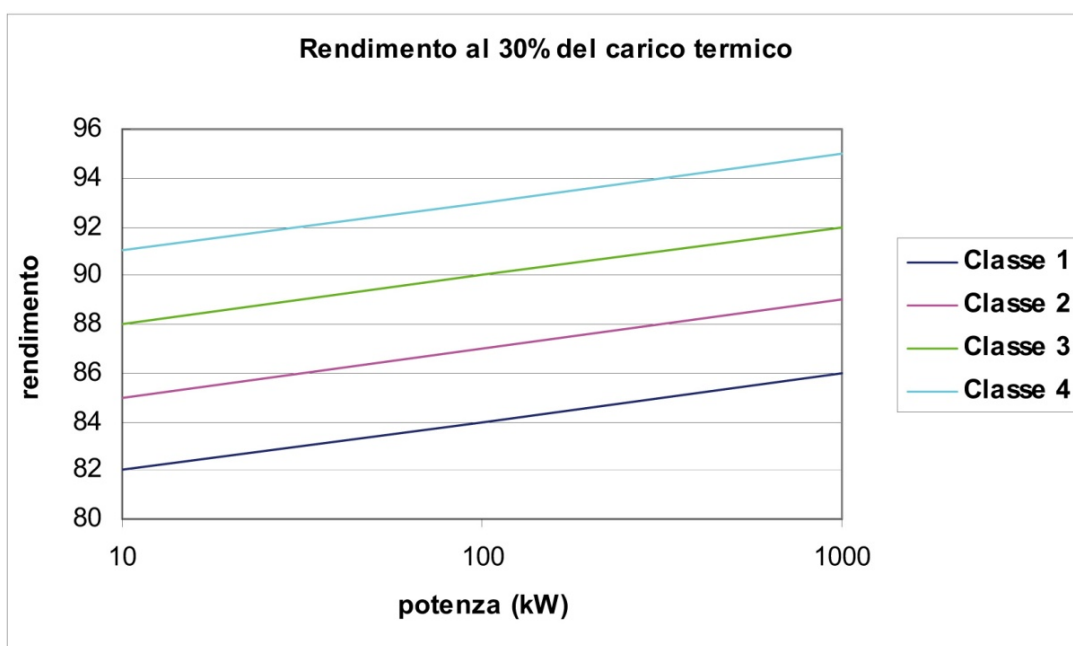


Figura 7. Classi di rendimento termico al variare della potenza delle caldaie per carico termico minimo (30 %).

Un'altra modalità di classificazione è quella *basata sulle emissioni di inquinanti*. In essa si precisano quali sono i limiti massimi ammissibili per ciascuna classe di apparecchi, la quale deve essere opportunamente indicata all'atto delle ispezioni di manutenzione che si svolgono periodicamente sugli apparecchi.

Nell' *Allegato 1 della norma UNI EN 483* vengono trattate le quantità massime che possono essere emesse da caldaie di tipo C. In esso si definiscono 4 classi *a seconda della quantità di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)* presenti nei fumi secchi (ossia senza considerare la presenza di vapore acqueo). Recentemente è stata aggiunta una quinta categoria di apparecchi, con emissioni di ossidi di azoto ancora più contenute. Si tratta della classe di caldaie più moderne ed ecologiche ultimamente immesse sul mercato. La figura 8 illustra la divisione in 5 classi delle caldaie in base all'emissione di ossidi di azoto, oltre al limite inferiore di emissione tecnicamente oggi raggiungibile per modelli non ancora diffusi ed affermati sul mercato.

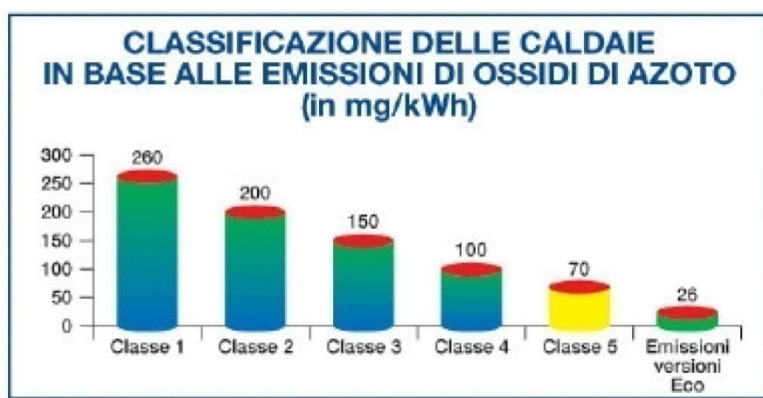


Figura 8. Classificazione delle caldaie in base alle emissioni di ossidi di azoto in mg per kWh di energia fornita dal combustibile.

Osservando il mercato delle apparecchiature, molti dei modelli più recenti rientrano nelle caldaie più ecologiche di classe 4 o addirittura di classe 5, soprattutto nel caso di apparecchi che montano bruciatori di nuova concezione detti appunto “a basse emissioni” o “Low NO<sub>x</sub>”.

Nelle prove di rilevazione degli NO<sub>x</sub>, secondo la norma UNI EN 483 la caldaia viene regolata alla portata termica nominale per una temperatura di mandata dell'acqua di 80 °C e una temperatura di ritorno di 60 °C. Qualora le condizioni di funzionamento della caldaia comportino un fattore di carico termico variabile nel tempo e siano distinguibili più fasi, ognuna caratterizzata da un determinato valore del carico termico, la norma illustra il metodo che si deve utilizzare per il calcolo delle emissioni degli ossidi di azoto, basato su adeguati coefficienti di ponderazione da associare ai singoli stadi.

Riepilogando dal quadro normativo riportata in tabella 11, si desume come vengano analizzati più aspetti riguardanti l'apparecchio stesso nella gestione e manutenzione dei suoi componenti ai fini di valutare correttamente gli aspetti relativi al risparmio energetico e all'impatto ambientale.

Nella tabella 11 seguente si riporta l'elenco delle principali norme, con titolo e data di emissione.

Numero Norma/Decreto	Data emissione	Titolo Norma/Decreto
UNI 10642	12/1997	Apparecchi a gas – Classificazione in funzione del metodo di prelievo dell'aria comburente e di scarico dei prodotti della combustione
UNI 7129	12/2001	Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione – Progettazione, installazione e manutenzione
UNI EN 297	1994	Caldaie a gas di tipo B <sub>11</sub> e B <sub>11BS</sub> dotate di bruciatore atmosferico di potenza termica nominale non superiore a 70 kW
UNI EN 483	2000	Caldaie a gas di tipo C con potenza termica nominale non superiore a 70 kW
D.P.R. 412	1993	Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, esercizio e la manutenzione degli impianti termici e degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia
D.P.R. 551	1999	Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 Agosto 1993 n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.
UNI 7357	1989	Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici.
UNI 10344	1993	Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia.
UNI 11071	2003	Impianti a gas per uso domestico asserviti ad apparecchi a condensazione e affini - Criteri per la progettazione, l'installazione, la messa in servizio e la manutenzione

Tabella 11. Tabella riassuntiva delle principali norme e decreti riguardanti l'installazione e la gestione delle caldaie domestiche.

Per quanto riguarda gli impianti di portata termica maggiore (installati in palazzi residenziali o sedi di servizi pubblici quali uffici, impianti sportivi, scuole), quindi apparecchi la cui potenza è maggiore di 35 kW (potenza identificata come massima raggiunta dagli individuali) la normativa prevede degli approfondimenti a riguardo.

L'aspetto principale riguardante questo tipo di apparecchi è senz'altro la presenza necessaria, oltre all'utente e all'installatore, di una terza figura esterna che si occupi dei periodici controlli e garantisca un corretto funzionamento negli anni.

La norma **UNI EN 656** ( $\geq 35$  kW) è specifica sui requisiti e i metodi di prova riguardanti, in particolare, la costruzione, la sicurezza, l'idoneità allo scopo, l'utilizzazione razionale dell'energia, la classificazione e la marcatura delle caldaie a gas per riscaldamento centrale dotate di bruciatori atmosferici, di bruciatori atmosferici con ventilatore o bruciatori con premiscelazione completa.

La norma si applica alle caldaie di tipo B (con prelievo dell'aria comburente direttamente dal locale di installazione), elencate dalla norma stessa:

- che utilizzano uno o più combustibili gassosi corrispondenti alle tre classificazioni di gas naturale alle definite pressioni di fornitura delle stesse;
- che hanno una portata termica nominale (basata sul potere calorifico inferiore) maggiore di 70 kW ma non maggiore di 300 kW, comprese le caldaie modulari;

- in cui la temperatura del fluido di trasmissione del calore non è maggiore di 105 °C durante il normale funzionamento;
- in cui la pressione massima di funzionamento del circuito acqua non è maggiore di 6 bar.

La norma si applica alle caldaie progettate per sistemi acqua a circuito chiuso o aperto. La norma non contiene tutti i necessari requisiti per:

- caldaie destinate all'installazione all'aperto;
- caldaie dotate in modo permanente di più di un'uscita del condotto di scarico;
- caldaie nelle quali il circuito di combustione è stagno rispetto al locale nel quale la caldaia è installata;
- caldaie del tipo a condensazione;
- caldaie del tipo a bassa temperatura;
- caldaie previste per il collegamento ad un condotto di scarico comune ad estrazione meccanica;
- caldaie dotate di un bruciatore a tiraggio forzato secondo la UNI EN 676;
- caldaie per la produzione di acqua calda per uso domestico.
- 

La norma **UNI EN 303** ( $\geq 35$  kW) è divisa in sei parti e tratta l'impiego delle caldaie ad aria soffiata adibite al riscaldamento degli edifici, per campi di potenza che arrivano fino a 1000 kW.

Nelle varie sezioni si indicano le configurazioni possibili per questi apparecchi al variare del combustibile impiegato, secondo il seguente schema:

- Parte 1: Caldaie con bruciatori ad aria soffiata - Terminologia, requisiti generali, prove e marcatura. La norma specifica la terminologia, i requisiti dei materiali, le prove ed i requisiti di marcatura per le caldaie per riscaldamento a bassa temperatura con bruciatori ad aria soffiata fino ad una potenza nominale di 1000 kW. Queste caldaie funzionano con pressione negativa (caldaie a tiraggio naturale) o con pressione positiva nella camera di combustione (caldaie pressurizzate) in conformità alle istruzioni del costruttore della caldaia;
- Parte 2: Caldaie con bruciatori ad aria soffiata - Requisiti particolari per caldaie con bruciatori di olio combustibile a polverizzazione. La norma stabilisce anche i requisiti termici necessari per le caldaie per riscaldamento funzionanti con combustibili liquidi;
- Parte 3: Caldaie a gas per riscaldamento centrale - Assemblaggio di un corpo caldaia con un bruciatore ad aria soffiata;
- Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura. La norma si applica a caldaie per riscaldamento con potenza termica nominale fino a 300 kW, destinate alla combustione

di combustibili solidi e funzionanti secondo le istruzioni del costruttore come caldaie con camera di combustione a pressione negativa o in pressione. La norma non si applica: alle caldaie per riscaldamento centralizzato o ad altre apparecchiature per riscaldamento le cui perdite di calore non sono in conformità con la norma stessa e che sono progettate per il riscaldamento diretto del locale in cui sono installate; alle apparecchiature per cottura; al progetto e alla costruzione di dispositivi automatici di alimentazione.

La norma **UNI EN 304** prescrive i requisiti e le raccomandazioni per effettuare e valutare le prove di verifica della caldaie e i dati relative alle condizioni tecniche in cui devono essere effettuate le prove.

Un aspetto fondamentale che influisce sul funzionamento dell'impianto e poi sulla emissione di inquinanti è la presenza di un tipo di bruciatore o l'altro.

### **3.3 Apparat***i di combustione e modelli di bruciatori*

Nell'ultimo decennio si è assistito ad una continua e rapida evoluzione dei modelli di bruciatore legati agli apparati di combustione, il cui sviluppo tecnologico ha permesso di ottenere rendimenti di combustioni sempre più elevati, con benefici dal punto di vista dei consumi, ed emissioni di inquinanti minori, seguendo in questo senso la tendenza delle leggi che vengono emanate e aggiornate nel tempo.

Si segnala che ad oggi la quasi totalità degli apparati di combustione delle caldaie ad uso domestico utilizza come combustibile il gas naturale, che permette una gestione più comoda della caldaia grazie ad una alimentazione continua e una combustione facilmente controllabile mediante i parametri della combustione quali il rapporto aria/combustibile e la temperatura di fiamma.

Oltre a ciò, esso è totalmente privo di zolfo, e quindi non può dare origine nei prodotti della combustione ai composti di questo elemento. Vi sono ancora alcune applicazioni isolate funzionanti a combustibile liquido (in genere gasolio), laddove la modifica dell'impianto di combustione risulterebbe svantaggiosa per una serie di motivi legati alla configurazione dell'impianto e alla modalità di utilizzo della caldaia.

I **bruciatori atmosferici** rappresentano la tipologia che si è maggiormente diffusa nel passato, e che in numero non trascurabile è presente ancora oggi nel parco installato nazionale. Esso preleva l'aria comburente alla pressione ambiente, senza l'ausilio di organi meccanici (ventilatori) e miscela questa con il combustibile in due stadi successivi che consentono di distinguere l'aria primaria, trascinata dal flusso di gas in ingresso tramite una conformazione a Venturi del condotto di alimentazione delle rampe degli ugelli del bruciatore, e l'aria secondaria che, per effetto dei fenomeni convettivi, attraversa gli interstizi tra le rampe e completa la combustione lambendo esternamente la fiamma, in una zona a temperatura più bassa rispetto a quella centrale della fiamma stessa. Le caratteristiche fluidodinamiche di questa famiglia di bruciatori però sono tali da non consentire un'ottimizzazione della miscelazione tra combustibile e comburente. In particolare nella zona di combustione si creano delle disomogeneità del rapporto aria/combustibile che causano locali picchi

di temperatura i quali, unitamente all'aria in eccesso fornita per completare la combustione, favoriscono la formazione di ossidi di azoto. A questi inconvenienti si aggiungono problemi di sicurezza legati al non agevole controllo della miscela aria/gas e, soprattutto, del convogliamento dei fumi verso il condotto di scarico, affidato unicamente alla convezione naturale. Nella figura seguente si illustra schematicamente una caldaia dotata di bruciatore atmosferico convenzionale, in cui sono messi in evidenza gli apporti di aria primaria e secondaria. Nello schema non è presente il percorso dell'acqua con relativa valvola deviatrice, scambiatore di calore per il riscaldamento di acqua sanitaria ed eventuale serbatoio di accumulo della stessa.

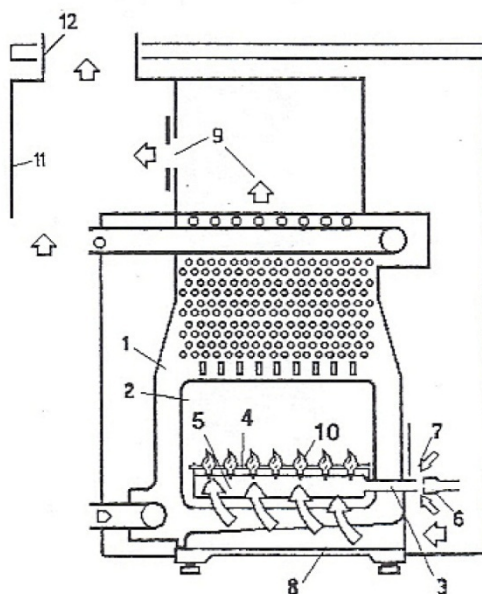


Figura 10. Rappresentazione schematica di una caldaia con bruciatore atmosferico convenzionale: 1 – scambiatore di calore; 2 – camera di combustione; 3 – iniettore; 4 – bruciatore; 5 – rampa alimentazione bruciatore; 6 – ugello alimentazione gas; 7 – aria primaria; 8 – aria secondaria; 9 – condotto scarico fumi; 10 – fiamma; 11 – interruttore di tiraggio; 12 – camino.

I **bruciatori ad aria soffiata** rappresentano una delle principali evoluzioni che hanno modificato la tipologia dei bruciatori in commercio ha portato all'inserimento nel circuito di alimentazione dell'aria di un ventilatore che, aspirando l'aria dall'ambiente ad una pressione leggermente superiore a quella atmosferica, la immette nella camera di combustione dove essa viene a contatto con il gas naturale.

In questo caso la caldaia si dice a tiraggio forzato o a camera chiusa, in quanto tutto il sistema di aspirazione dell'aria comburente e l'ambiente in cui avviene la combustione risultano isolati dall'ambiente esterno in cui la caldaia è installata. Questo fatto garantisce una maggiore sicurezza grazie al più agevole controllo che si riesce ad esercitare sul rapporto aria/combustibile, in quanto essendo nota la velocità del ventilatore si può determinare quanta aria entra nel circuito e in che rapporto essa si trova rispetto alla quantità di combustibile iniettato dall'ugello. Inoltre l'isolamento di tutto il circuito di aspirazione rispetto all'esterno comporta una maggiore coibentazione dell'impianto con conseguenti minori dispersioni termiche a beneficio del rendimento. Per contro la presenza del ventilatore, assente nelle caldaie a camera aperta, necessita di un consumo elettrico di potenza intorno ai 50 Watt, ma il contributo di questa spesa energetica è ampiamente

assorbito dai vantaggi ottenuti con l'uso del ventilatore stesso. I bruciatori ad aria soffiata sono ad oggi il modello più diffuso sul panorama delle installazioni, e negli ultimi anni hanno subito delle modifiche sempre più performanti che hanno portato alla nascita dei bruciatori a premiscelazione totale.

I **bruciatori a premiscelazione** rappresentano l'ultima evoluzione della categoria dei bruciatori. I progressi tecnologici raggiunti e i sistemi sempre più avanzati per il miglioramento della combustione, la corrispondente riduzione dei consumi e la diminuzione delle emissioni di sostanze inquinanti hanno portato a *diverse tipologie di bruciatori a premiscelazione*. L'aspetto comune tra esse è comunque la particolare conformazione dell'ugello Venturi, che consente una miscelazione tra aria comburente e gas naturale pressoché omogenea già a monte degli ugelli stessi, rendendo non più necessario l'apporto di aria secondaria. Pur se applicabili anche in caldaie a camera aperta e tiraggio naturale, i bruciatori a premiscelazione richiedono di norma apparecchiature stagne, in quanto in esse è più facile controllare la quantità di aria entrante nella camera di combustione, pertanto la miscelazione risulta più regolare. In questo caso l'apporto di aria secondaria viene quasi totalmente eliminato, in quanto non si richiede più di completare la combustione nelle zone periferiche della fiamma. In realtà una piccola portata di aria secondaria, pur non partecipando direttamente alla combustione, passa nello spazio residuo tra bruciatore e camera di combustione che viene appositamente mantenuto, per rendere il funzionamento dell'apparecchiatura in parte indipendente dalle condizioni di tiraggio della caldaia qualora se verificasse qualche problema al sistema di aspirazione. D'altra parte l'assenza di aria secondaria richiede un maggior apporto di aria primaria, da cui discende l'aggettivo iperstechiometrico che di norma viene accoppiato a questi bruciatori. Le diverse tipologie di bruciatori a premiscelazione si distinguono tra loro per l'espedito tecnico adottato nella zona della combustione, che permette di ottenere fiamme di altezza ridotta e temperatura inferiore, al fine di limitare il più possibile la produzione di ossidi di azoto e contemporaneamente contenere la produzione di elementi incombusti e monossido di carbonio.

Una possibile configurazione di bruciatore a premiscelazione è quella **con ugello spartifiamma o fiamma a tappeto**. In questo caso gli ugelli sono disposti su un'unica superficie che suddivide la portata termica in un numero elevato di piccole fiammelle. Tale disposizione impedisce l'apporto di aria secondaria e, dando origine a fiamme piuttosto basse, riduce il tempo di permanenza dei gas ad alta temperatura contribuendo a limitare la produzione di NO<sub>x</sub>. Infatti è noto come la produzione di ossidi di azoto dipenda dalle temperature in gioco, dalla quantità di ossigeno in eccesso presente, dalla velocità dei gas combusti e dal tempo di residenza di questi nella zona della fiamma. Se questa area risulta meno estesa, a parità degli altri fattori si formeranno quantità inferiori di NO<sub>x</sub>.

Una delle ultime categorie di bruciatori entrate in commercio è quella detta **“a basse emissioni”** o **“Low NO<sub>x</sub>”**, applicabili sia sulle più moderne caldaie a condensazione che sugli apparecchi di concezione più convenzionale. Questi bruciatori permettono di modulare l'aria e il combustibile in ingresso mantenendo all'incirca costante il loro rapporto, per una combustione il più possibile ottimizzata. Questa tecnologia si differenzia dalle precedenti anche per la sua bassa rumorosità dovuta all'opportuna regolazione del

bruciatore, oltre che alla notevole durata, in quanto i bruciatori sono progettati per resistere a fatica termica (intesa come successione di cicli di accensione e spegnimento e conseguente rapida variazione delle temperature cui sono sottoposti i materiali, che porta ad un degrado della struttura e della sua resistenza agli sforzi) e corrosione. La forma è cilindrica e disponibile in diverse dimensioni, e si adatta sia all'uso di metano che di GPL. Come nel caso dei bruciatori a tappeto, la fiamma è caratterizzata da un'altezza ridotta al minimo compatibilmente con il sostentarsi della combustione. In questo modo, mantenendo costanti gli altri parametri relativi ai gas combusti (portata, velocità, temperatura) si minimizza la formazione di ossidi di azoto.

Un'altra tipologia con caratteristiche analoghe è quella dei bruciatori con *fiamma ad ali di farfalla*, in cui la combustione avviene principalmente in un singolo stadio, ma senza eliminare del tutto l'apporto di aria secondaria. In questo modo il grado di premiscelazione ottenuto è solo parziale, e rende relativamente meno problematica la regolazione della combustione. Questa tecnologia permette di avere fiamme molto basse, di colore violetto e a forma di V. Tale profilo, determinando un incremento della superficie di contatto aria/gas, migliora il raffreddamento della fiamma che, abbinato alla riduzione di quantità di aria secondaria rispetto al caso di bruciatore non a premiscelazione, consente di contenere apprezzabilmente le emissioni di ossido di azoto (minori di 10 ppm). La messa a punto del bruciatore tuttavia richiede particolare attenzione per evitare fenomeni di incompletezza della combustione, legati ad apporti insufficienti di aria comburente.

Il bruciatore *fibroceramico ad irraggiamento* rappresenta una delle ultime innovazioni immesse nel panorama di tecnologie fino ad ora analizzate. In genere viene accoppiato con caldaie a condensazione, unendo i vantaggi di un basso consumo di combustibile grazie al recupero di calore dalla condensazione del vapore acqueo dei fumi alle basse emissioni che questa tecnologia è in grado di garantire. Il funzionamento di questi bruciatori è il seguente. Il combustore di forma cilindrica è costruito in fibra ceramica sulla cui superficie esterna vengono bruciati aria e gas miscelati. Si crea così un'incandescenza, non una fiamma, che diffonde il calore per irraggiamento. In questo modo il calore si propaga in modo uniforme, senza stressare alcune parti particolari della componentistica, consentendo alla caldaia una vita media decisamente più lunga. La temperatura di combustione è mantenuta bassa dal robusto scambio termico per irraggiamento. Grazie l'impiego di un ugello Venturi ben configurato il sistema permette di ottenere una premiscelazione ottimale tra aria e gas, favorendo l'efficacia della combustione anche con piccoli eccessi d'aria. Inoltre, grazie ad una apposita valvola gas, che ne modula l'afflusso in funzione della pressione all'ugello Venturi, il rapporto aria/combustibile è mantenuto costante per tutti i regimi di funzionamento, con benefici evidenti per il rendimento in ogni condizione operativa. Alle basse potenze, si riduce la quantità di aria comburente e quindi quella dei prodotti di combustione, e alle basse velocità in cui si trovano a viaggiare i fumi (inferiori ai 5 m/s) lo scambio termico per irraggiamento diventa predominante. Questo comporta che per carichi termici inferiori a quello massimo il rendimento sia addirittura superiore rispetto a quello relativo alla potenza nominale.

Gli *elementi di raffreddamento attivi e passivi* rappresentano altri dispositivi introdotti in passato per



limitare la produzione di ossidi di azoto mediante un raffreddamento della zona della fiamma. Questo è reso possibile tramite l'asportazione di calore dalla zona della combustione per mezzo di questi appositi elementi di raffreddamento, i quali appunto possono essere attivi o passivi.

Nel primo caso si inseriscono nella zona della fiamma dei circuiti alimentati ad acqua che asportando calore raffreddano la superficie del bruciatore e contemporaneamente preriscaldano l'acqua che viene poi indirizzata verso l'impianto, contribuendo al risparmio di combustibile e al miglioramento del rendimento della caldaia. Nella figura seguente è riportato un esempio di bruciatore ecologico in cui appare evidente il condotto d'acqua che mantiene a temperatura minore la superficie del bruciatore. Gli elementi passivi invece sono barrette di ceramica che, analogamente ai circuiti ad acqua, assorbono il calore della fiamma disperdendolo per irraggiamento nel corpo caldaia. La configurazione e la disposizione degli elementi sono inoltre tali da incrementare la velocità dei gas a causa del minor spazio di transito, diminuendo il tempo di permanenza nelle zone a temperatura maggiore. Il numero e la posizione degli elementi costituiscono un passaggio critico della progettazione del bruciatore in relazione alla possibilità che si creino, a scapito dei miglioramenti ottenibili nella produzione di NO<sub>x</sub>, condizioni tali da ostacolare l'afflusso di aria secondaria che, peggiorando l'efficienza di combustione, possono determinare incrementi anche sensibili delle emissioni di CO e composti organici incombusti. Non mancano esempi di apparecchiature che combinano bruciatori a tappeto con inserti attivi di raffreddamento ad acqua: oltre che ridurre ulteriormente la produzione di ossidi di azoto, tali configurazioni consentono altresì una costanza di funzionamento anche in condizioni estreme di modulazione, quando il tappeto di fiamma risulta particolarmente aderente alla superficie del bruciatore.<sup>33</sup>

Per quanto riguarda gli impianti di portata maggiore (potenza superiore ai 35 kW), la principale caratteristica che differenzia le caldaie di elevata potenza è costituita dal combustibile impiegato: gas naturale o combustibile liquido. Il combustibile liquido invece può essere differente a seconda del tipo di applicazione. Il più utilizzato è sicuramente il gasolio, ma nelle applicazioni industriali si trovano anche esempi di impiego di olio combustibile denso di qualità meno pregiata ma più economica. Negli ultimi tempi si è inoltre assistito allo sviluppo di una nuova specie di combustibile liquido, il biodiesel, che essendo ricavato da elementi naturali viene considerato particolarmente ecologico e non dà origine ad alcuni composti tossici quali il biossido di zolfo, e per questo motivo la sua diffusione sta conoscendo un rapido incremento negli ultimi anni. Relativamente agli aspetti tecnologici, la situazione del parco caldaie con potenza superiore ai 35 kW è caratterizzata da una fortissima predominanza delle caldaie ad aria soffiata (oltre 80%). Come nel caso delle caldaie domestiche, esse sono dotate di un sistema di aspirazione che immette tramite ventilatore l'aria

---

<sup>33</sup> *Caratterizzazione delle emissioni di caldaie residenziali*, Rapporto CESI, 2005.

comburente nella camera di combustione ad una pressione leggermente maggiore di quella atmosferica. Il grado di sviluppo degli impianti asserviti al generatore di calore invece sono meno avanzati rispetto al caso delle utenze autonome, a causa anche della minor spinta all'innovazione che questo tipo di apparecchi richiede nel suo ambiente di applicazione. Solamente nell'ultimo biennio le vendite delle caldaie a condensazione hanno subito un rapido incremento, grazie alla rapida diffusione che questa innovazione tecnologica sta conoscendo, per merito soprattutto degli incentivi e dei vantaggi che essa comporta grazie alla gestione dell'impianto e al risparmio di combustibile. Tale tipo di tecnologia costituisce comunque ancora un mercato ridotto per le caldaie ad elevata potenza, pur con forti margini di incremento. Allo stesso modo le caldaie modulanti, capaci di variare la quantità d'aria introdotta nella combustione a seconda della richiesta di energia da parte dell'utenza, non sono così comuni come nel mercato delle caldaie domestiche, e anche i tempi di sviluppo dei nuovi prototipi sono maggiori.

### ***3.4 Combustibili ed impianti nel contesto nazionale***

Al fine di determinare l'influenza sulle emissioni in atmosfera da parte del riscaldamento civile, è stata condotta una valutazione sui combustibili impiegati in tale settore, sugli impianti termici in cui essi vengono bruciati in diverse condizioni di regolazione.

Negli studi intrapresi e qui analizzati, si è sostanzialmente articolato un percorso sperimentale che prevede l'esecuzione di misure atte a determinare i livelli di emissione generati dai processi di combustione in funzione dei diversi combustibili impiegati, degli apparecchi tecnici e dei rendimenti energetici ottenuti.

Per individuare i combustibili e le tipologie di impianti termici rappresentanti del territorio nazionale SSC ed IPASS e ex-CESI Ricerca, si sono rivolti al 14° Censimento Nazionale della popolazione e delle Abitazioni elaborato da Istat nel 2001, i dati raccolti da ATIG relativa ad un'indagine del 2005 e i dati di vendita di Assotermica sempre riferiti al 2005.

L'andamento generale dell'utilizzo dei combustibili, indica una progressiva diminuzione di quelli liquidi rispetto a quelli gassosi; si può osservare la predominanza dei consumi di gas naturale, in continua e consistente crescita, la riduzione dei consumi di gasolio e la marginalità dei consumi degli altri combustibili liquidi.

Considerando come anno di riferimento il 2001<sup>34</sup>, infatti, il gas naturale copre più del 72% (escludendo i consumi di energia elettrica) delle richieste energetiche del settore civile attraverso la combustione di 26,4 miliardi di metri cubi; circa il 14,4% è coperto dal gasolio, il 7,1% dal GPL e il 4,1 % da biomassa. Il

---

<sup>34</sup> Secondo le rilevazioni di SSC e IPASS del 2002 rispetto al 2001

rimanente 2,3% è diviso tra olio combustibile (1,1%), solidi (0,43%), fonti rinnovabili (0,33%), petrolio (0,21%) e biodiesel (0,17%).

I consumi dei combustibili di più recente introduzione sul mercato, cioè le emulsioni, il biodiesel e la relativa miscela con olio combustibile, e la loro previsione al 2015 (tabella 13) denotano un'evidente crescita.<sup>35</sup>

Anno	Gas Naturale [1] 10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	Gasolio [2] 10 <sup>6</sup> t	Biodiesel [1] 10 <sup>6</sup> t	Olio combustibile BTZ [1] 10 <sup>6</sup> t	Emulsione Gasolio-acqua [2] 10 <sup>3</sup> t	Emulsione Olio comb. BTZ-acqua [2] 10 <sup>3</sup> t	Miscela Olio comb. BTZ- Biodiesel [2] 10 <sup>3</sup> t
1995	22,60	3,58	0,00	0,22	-	-	-
1996	23,80	4,12	0,00	0,19	-	-	-
1997	23,20	4,12	0,00	0,21	-	-	-
1998	25,00	3,77	0,00	0,31	-	-	-
1999	26,10	3,81	0,05	0,36	-	0,6	15
2000	25,10	3,60	0,08	0,32	-	5	50
2001	26,40	3,57	0,06	0,34	1	20	50
2002	25,40	2,91	0,06	0,36	6	21	50
2003	27,00	2,83	0,06	0,29	10	22	50

Tabella 12. Consumi dei combustibili coinvolti nella sperimentazione nel periodo 1995 – 2003. (Unione Petrolifera, 2003 – Assocostieri, 2004).

Anno	Gas Naturale 10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	Gasolio 10 <sup>6</sup> t	Biodiesel 10 <sup>6</sup> t	Olio combustibile BTZ 10 <sup>6</sup> t	Emulsione Gasolio-acqua 10 <sup>3</sup> t	Emulsione Olio comb. BTZ-acqua 10 <sup>3</sup> t	Miscela Olio comb. BTZ- Biodiesel 10 <sup>3</sup> t
2004	27,60	2,64	0,05	0,25	-	-	-
2005	28,00	2,61	0,03	0,25	-	-	-
2010	29,20	2,22	0,00	0,18	-	-	-
2015	29,40	2,19	0,00	0,00	-	-	-

Tabella 13. Previsioni dei consumi di alcuni dei combustibili coinvolti nella sperimentazione nel periodo 2004 – 2015. (ISTAT, Dati definitivi, 9 dicembre 2004).

<sup>35</sup> ISTAT, 14° Censimento Nazionale della popolazione e delle Abitazioni, 2001

Combustibile	Consumo di energia 10 <sup>9</sup> kcal/anno	% <sup>1</sup>
Gas Naturale	217.800	72,14
Gasolio	43.391	14,37
G.P.L.	21.560	7,14
Biomasse	12.300	4,07
Olio combustibile	3.430	1,14
Solidi <sup>2</sup>	1.300	0,43
Solare/Geotermico/RSU	1000	0,33
Petrolio riscaldamento <sup>3</sup>	639	0,21
Biodiesel	510	0,17
Energia elettrica	108.652	-
Totale (escluso energia elettrica)	301.930	100
Totale generale	410.582	-

*Tabella 13. Combustibili impiegati per coprire il fabbisogno energetico nel settore Civile, anno 2001. (Unione Petrolifera, 2003 – Assocostieri, 2004).*

Per quanto invece riguarda la valutazione della diffusione degli impianti di riscaldamento sul territorio italiano, analizzando gli studi di SSC e IPASS è stato possibile individuare la composizione del parco nazionale impianti relativa al 2001<sup>36</sup>.

Sulla base dei primi risultati del 14° Censimento il parco caldaie in Italia risulta composto come riportato in tabella 15, nella quale è indicato il numero di abitazioni occupate da persone residenti in possesso di impianto di riscaldamento, per ripartizione geografica e regionale e tipo di impianto.

---

<sup>36</sup> 14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni realizzato da ISTAT nel 2001.

REGIONI e ripartizione geografica	Dispone di impianto di riscaldamento										Non dispone di impianto di riscaldamento	Totale abitazioni occupate		
	Totale	Di cui: impianto centralizzato ad uso di più abitazioni		Di cui: impianto fisso autonomo ad uso esclusivo dell'abitazione		Di cui: apparecchi singoli fissi che riscaldano tutta o la maggior parte dell'abitazione		Di cui: apparecchi singoli fissi che riscaldano solo alcune parti dell'abitazione		Num.			%	Num.
		Num.	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.					
Piemonte	1.784.591	757.505	42,3	875.003	48,9	134.107	7,5	175.216	9,8	5.431	0,3	1.790.022		
Valle d'Aosta	52.917	26.615	50,1	19.095	36,0	7.980	15,0	6.645	12,5	155	0,3	53.072		
Lombardia	3.626.160	1.245.947	34,3	2.162.383	59,5	205.381	5,7	279.730	7,7	6.794	0,2	3.632.954		
Trentino-Alto Adige	361.780	157.124	43,1	158.160	43,4	42.087	11,5	74.905	20,5	2.768	0,8	364.548		
Veneto	1.694.353	232.653	13,7	1.331.508	78,3	136.952	8,1	215.467	12,7	5.168	0,3	1.699.521		
Friuli-Venezia Giulia	489.470	95.817	19,4	331.496	67,2	51.569	10,5	94.083	19,1	3.788	0,8	493.258		
Liguria	696.157	237.047	33,5	377.074	53,3	58.631	8,3	61.925	8,8	10.731	1,5	706.888		
Emilia-Romagna	1.633.920	301.135	18,4	1.235.936	75,5	92.578	5,7	137.470	8,4	3.462	0,2	1.637.382		
Toscana	1.359.373	188.106	13,7	1.020.531	74,2	131.088	9,5	156.147	11,4	15.598	1,1	1.374.971		
Umbria	308.967	33.532	10,8	245.843	79,2	36.342	11,7	63.728	20,5	1.619	0,5	310.586		
Marche	543.892	47.560	8,7	460.943	84,3	42.214	7,7	77.348	14,1	2.743	0,5	546.635		
Lazio	1.919.497	595.024	30,4	1.132.866	57,8	151.250	7,7	191.233	9,8	40.540	2,1	1.960.037		
Abruzzo	456.613	29.615	6,4	361.049	78,6	59.992	13,1	89.998	19,6	3.009	0,7	459.622		
Molise	118.003	6.532	5,5	80.890	68,0	20.040	16,8	29.515	24,8	965	0,8	118.968		
Campania	1.596.687	156.853	8,5	876.543	47,4	277.127	15,0	409.712	22,1	254.158	13,7	1.850.845		
Puglia	1.292.189	78.252	5,7	933.608	68,0	139.095	10,1	236.897	17,2	81.426	5,9	1.373.615		
Basilicata	211.790	10.179	4,7	130.569	60,9	48.255	22,5	46.889	21,9	2.629	1,2	214.419		
Calabria	618.807	23.491	3,3	240.005	34,0	138.935	19,7	260.044	36,9	86.446	12,3	705.253		
Sicilia	1.149.809	99.177	5,6	537.870	30,2	161.126	9,1	394.135	22,2	628.715	35,4	1.778.524		
Sardegna	526.813	62.527	10,7	135.109	23,2	88.862	15,3	287.139	49,3	55.355	9,5	582.168		
Italia Nord-Ovest	6.159.825	2.267.114	36,7	3.433.555	55,5	406.099	6,6	523.516	8,5	23.111	0,4	6.182.936		
Italia Nord-Est	4.179.523	786.729	18,8	3.057.100	72,9	323.186	7,7	521.925	12,4	15.186	0,4	4.194.709		
Italia Centrale	4.131.729	864.222	20,6	2.860.183	68,2	360.894	8,6	488.456	11,7	60.500	1,4	4.192.229		
Italia Meridionale	4.294.089	304.922	6,5	2.622.664	55,5	683.444	14,5	1.073.055	22,7	428.633	9,1	4.722.722		
Italia Insulare	1.676.622	161.704	6,8	672.979	28,5	249.988	10,6	681.274	28,9	684.070	29,0	2.360.692		
<b>Italia</b>	<b>20.441.788</b>	<b>4.384.691</b>	<b>20,2</b>	<b>12.646.481</b>	<b>58,4</b>	<b>2.023.611</b>	<b>9,3</b>	<b>3.288.226</b>	<b>15,2</b>	<b>1.211.500</b>	<b>5,6</b>	<b>21.653.288</b>		

Tabella 15. Numero di abitazioni occupate da persone residenti fornite di impianti di riscaldamento di diversa tipologia, anno 2001. (Unione Petrolifera, 2003 – Assocostieri, 2004).

Analizzando nel dettaglio la disponibilità di fornitura di riscaldamento, dalla figura sotto emerge che il tipo di impianto di riscaldamento più diffuso in Italia è quello fisso autonomo (58,4% delle abitazioni occupate), il 20,2% delle abitazioni occupate da persone residenti è servito da un impianto centralizzato e una quota residuale di abitazioni è priva di qualsiasi impianto (5,6%); una percentuale rilevante (24,5%) è dotata di apparecchi singoli fissi che riscaldano tutta, la maggior parte o alcune parti dell'abitazione.

L'incidenza delle abitazioni prive di impianto di riscaldamento varia secondo la collocazione geografica: al Sud si registra la percentuale più alta, raggiungendo il massimo in Sicilia (35,3%), in Campania (13,7%) ed in Calabria (12,3%). Tali casi sono invece rarissimi nel Nord Italia: il minimo si osserva in Lombardia (0,2%), Emilia Romagna (0,2%) e Valle d'Aosta (0,3%). L'impianto fisso autonomo è prevalente nel Centro Italia, soprattutto nelle Marche (84,4%), in Umbria (79,1%) e in Abruzzo (78,5%), mentre è meno presente nel Sud e nelle Isole, in particolare in Sardegna (23,2%), Sicilia (30,2%) e Calabria (34,0%).

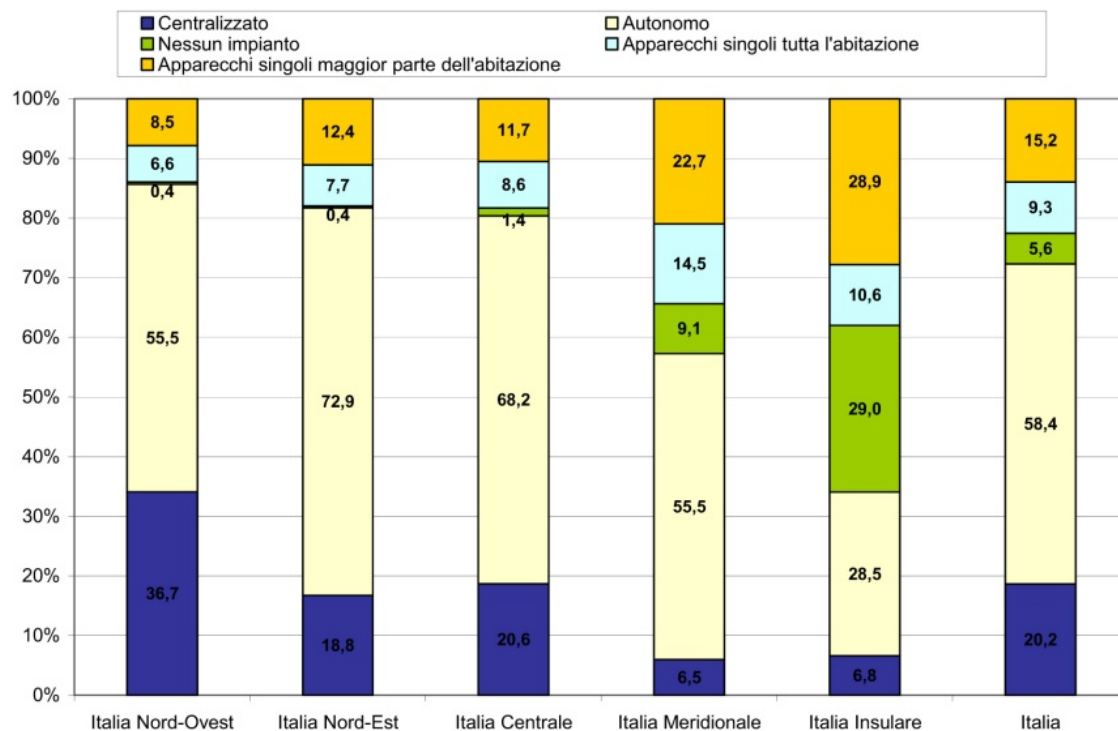


Figura 10. Ripartizione geografica delle tipologie di impianto presenti in Italia, anno 2001. (ISTAT, Dati definitivi, 2004).

Dalla tabella 15 si vede anche che il riscaldamento autonomo prevale in tutte le regioni italiane, ad eccezione della Valle d'Aosta e della Sardegna (dove prevalgono rispettivamente gli impianti centralizzati e l'impiego di apparecchi singoli).

REGIONI e RIPARTIZIONI GEOGRAFICHE	Tipi di combustibile o energia per riscaldamento										Totale
	Comb. liquido o gassoso <sup>5</sup>		Comb. solido <sup>6</sup>		Energia elettrica		Olio comb.		Altro comb. o energia <sup>7</sup>		
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%	
Piemonte	1.602.162	80,5	267.758	13,5	23.089	1,2	14.312	0,7	82.555	4,1	1.989.876
Valle d'Aosta	45.210	72,0	14.344	22,8	1.192	1,9	885	1,4	1.176	1,9	62.807
Lombardia	3.492.411	89,5	281.770	7,2	44.162	1,1	20.086	0,5	64.553	1,7	3.902.982
Trentino-Alto Adige	301.722	66,5	120.733	26,6	8.623	1,9	5.791	1,3	16.666	3,7	453.535
Veneto	1.608.087	83,4	273.882	14,2	26.369	1,4	3.851	0,2	16.264	0,8	1.928.453
Friuli-Venezia Giulia	447.658	76,9	112.649	19,3	12.830	2,2	2.385	0,4	6.861	1,2	582.383
Liguria	636.278	86,2	69.569	9,4	20.919	2,8	6.257	0,8	4.893	0,7	737.916
Emilia-Romagna	1.567.368	88,6	146.330	8,3	26.763	1,5	4.110	0,2	24.831	1,4	1.769.402
Toscana	1.253.010	84,2	183.308	12,3	35.428	2,4	3.631	0,2	12.038	0,8	1.487.415
Umbria	282.477	74,5	85.188	22,5	7.920	2,1	1.183	0,3	2.354	0,6	379.122
Marche	513.357	82,0	96.801	15,5	11.507	1,8	1.343	0,2	2.801	0,4	625.809
Lazio	1.724.383	83,0	270.708	13,0	62.658	3,0	3.983	0,2	16.171	0,8	2.077.903
Abruzzo	395.645	72,3	132.943	24,3	10.290	1,9	518	0,1	7.482	1,4	546.878
Molise	89.068	63,3	46.503	33,1	4.032	2,9	159	0,1	909	0,6	140.671
Campania	1.216.721	68,6	372.005	21,0	170.319	9,6	2.214	0,1	13.609	0,8	1.774.868
Puglia	1.082.014	76,5	210.902	14,9	106.836	7,6	1.442	0,1	12.752	0,9	1.413.946
Basilicata	142.419	58,6	89.308	36,7	10.115	4,2	230	0,1	1.100	0,5	243.172
Calabria	287.780	40,9	298.153	42,3	113.024	16,0	528	0,1	4.718	0,7	704.203
Sicilia	777.346	63,3	125.439	10,2	310.769	25,3	1.441	0,1	12.655	1,0	1.227.650
Sardegna	238.724	38,0	267.880	42,7	113.121	18,0	1.244	0,2	6.516	1,0	627.485
Italia Nord-Ovest	5.776.061	86,3	633.441	9,5	89.362	1,3	41.540	0,6	153.177	2,3	6.693.581
Italia Nord-Est	3.924.835	82,9	653.594	13,8	74.585	1,6	16.137	0,3	64.622	1,4	4.733.773
Italia Centrale	3.773.227	82,6	636.005	13,9	117.513	2,6	10.140	0,2	33.364	0,7	4.570.249
Italia Meridionale	3.213.647	66,6	1.149.814	23,8	414.616	8,6	5.091	0,1	40.570	0,8	4.823.738
Italia Insulare	1.016.070	54,8	393.319	21,2	423.890	22,8	2.685	0,1	19.171	1,0	1.855.135
<b>Italia</b>	<b>17.703.840</b>	<b>78,1</b>	<b>3.466.173</b>	<b>15,3</b>	<b>1.119.966</b>	<b>4,9</b>	<b>75.593</b>	<b>0,3</b>	<b>310.904</b>	<b>1,4</b>	<b>22.676.47</b>

Tabella 16. Abitazioni occupate da persone residenti con impianto di riscaldamento per tipo di combustibile o energia che alimenta l'impianto di riscaldamento. (ISTAT, Dati definitivi, 2004).

I combustibili più usati (tabella 16) per il riscaldamento delle abitazioni occupate da persone residenti (ogni abitazione può disporre di diversi tipi di impianto di riscaldamento e dunque può usare contemporaneamente più tipi di combustibile) sono quelli liquidi e gassosi (78%), soprattutto nelle regioni del Nord e del Centro: Lombardia (89,5%), Emilia-Romagna (88,6%), Liguria (86,2%), Toscana (84,2%), Veneto (83,4%), Lazio (83%), Marche (82%), Friuli-Venezia Giulia (76,9%), Piemonte (80,5%).

I combustibili solidi e l'energia elettrica sono usati in misura minore, rispettivamente il 15,3% e il 4,9%. I combustibili solidi sono usati in percentuali superiori al valore nazionale in Sardegna (42,7%), Calabria (42,3%), Basilicata (36,7%), Molise (33,1%), Abruzzo (24,3%) e Umbria (22,5%). L'energia elettrica è impiegata soprattutto in Sicilia (25,3%), Sardegna (18,0%) e Calabria (16,0%).<sup>37</sup>

<sup>37</sup> *Analisi Comparativa dei Combustibili ad uso Civile*, Rapporto SSC, 2005.

Tali rilevamenti possono essere confrontati con quelli di ATIG che, nel 2005, ha svolto un sondaggio su scala nazionale volto a determinare le principali caratteristiche del parco installato di caldaie ad uso domestico.

Facendo riferimento a tale anno solare, sono risultati esistere in Italia circa 14 milioni di caldaie installate in impianti autonomi.

La grande maggioranza di esse, circa il 90 %, erano alimentate a gas naturale, GPL o altri gas affini.

Il tasso di vendita annua si aggira sul valore di 1,2 milioni di pezzi l'anno, il che porta ad attribuire agli apparecchi una vita media di circa 12 anni.

Per quanto riguarda gli altri combustibili, le caldaie di più vecchia concezione funzionano a combustibile liquido e più precisamente gasolio, con una quota di mercato di circa il 5 % in continua diminuzione e un totale di apparecchi installati di circa il 12 % del totale. La tabella 17 riassume i concetti finora espressi.

	Parco installato	Vendite annue
Caldaie in impianti autonomo	14 milioni	1,2 milioni
A gas naturale	75%	80%
A GPL/altri	13%	15%
A gasolio	12%	5%

*Tabella 17. Classificazione caldaie domestiche autonome in Italia in base al combustibile (ATIG anno 2005 – Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).*

A titolo di confronto, per quanto riguarda le caldaie centralizzate residenziali e non (con potenza superiore ai 35 kW), esse si contano in circa 1 milione di esemplari, di cui il 60 % circa alimentati a gas naturale. Le vendite annue si attestano sui 44000 pezzi annui, ma anche questo valore era in via di diminuzione. Le considerazioni appena fatte portano a stimare la vita media delle caldaie centralizzate attorno ai 20 anni. Anche in questo caso si riporta in tabella 18 la situazione appena descritta.

	Parco installato	Vendite annue
Caldaie in impianto centralizzato residenziale	350.000	44.000
Caldaie in impianto centralizzato non residenziale	700.000	
A gas naturale	Circa 60%	

*Tabella 18. Classificazione caldaie centralizzate residenziali e non in Italia in base al combustibile (ATIG anno 2005– Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).*

Sempre secondo il sondaggio ATIG, le caldaie centralizzate sono situate prevalentemente nelle aree con maggiore concentrazione di abitazioni in condominio, e costituiscono una scelta impiantistica quasi obbligata nel caso di edifici esclusivamente adibiti ad attività imprenditoriali. Fino al 2007, le vendite di caldaie per



impianti centralizzati risultavano in calo, seguendo la tendenza nel comparto residenziale che premiava le installazioni termo-autonome nelle nuove costruzioni e nelle ristrutturazioni.

Nel settore residenziale infatti, le caldaie centralizzate rappresentano secondo l'indagine ATIG aggiornata al 2005 solo il 10% delle soluzioni adottate negli edifici di nuova costruzione, a fronte del 50 % degli anni sessanta e del 30 % degli anni settanta.

E' opportuno notare però che l'espansione degli impianti termo-autonomi e la diminuzione del centralizzato sono fenomeni strettamente legati al rinnovo edilizio: nei numerosi condomini asserviti oggi da caldaie centralizzate è infatti quasi unanime la tendenza a non sostituire l'impianto esistente, optando piuttosto per soluzioni di contabilizzazioni del calore e termoregolazione autonoma.

Bisogna tuttavia notare, nell'analisi di mercato di sostituzione di questi prodotti, che nelle caldaie di grosse dimensioni il bruciatore costituisce quasi sempre una parte della caldaia tecnicamente e commercialmente distinta, la cui vita media è solitamente inferiore alle restanti parti dell'impianto. La stessa cosa non accadeva nel caso delle caldaie domestiche. Quindi se si integrano i dati sulle vendite annue di apparecchiature complete con quelle dei soli bruciatori, si ottiene un trend sostanzialmente invariato negli ultimi tre o quattro anni. Al settore non residenziale sono e saranno sempre più imputabili la diffusione e la vendita delle grosse caldaie, che vedono viceversa ridurre drasticamente la loro presenza nel comparto abitativo. Tra i fenomeni che maggiormente interessano gli impianti centralizzati e le centrali termiche per edifici non residenziali, va citata la progressiva conversione dell'alimentazione delle caldaie a gasolio (o olio combustibile, gpl e altro) a gas naturale. Si tratta di un fenomeno che, oltre ad influire sui consumi civili del gas, contribuirà almeno nel breve periodo ad alimentare ulteriormente il mercato del rinnovo, soprattutto per quanto riguarda i bruciatori e le caldaie ad alta efficienza. Merita infine di essere citato, tra i pochi prodotti che in alcuni casi possono soppiantare le caldaie centralizzate, il teleriscaldamento urbano.

Scendendo nel particolare, ATIG ha fatto alcune considerazioni sia sulla concezione della caldaia stessa (per quanto riguarda gli impianti inferiori a 35 kW). La configurazione delle caldaie, può essere a camera stagna o aperta, con le prime nettamente più diffuse delle seconde, le quali ormai vengono installate solo nel caso in cui si voglia sostituire un precedente impianto a camera aperta senza modificare il camino pre-esistente. Si stima che in Italia le caldaie installate a camera stagna ammontino a circa il 77 % del totale, il restante 23 % è costituito dalle caldaie a camera aperta.

caldaie	A camera stagna	A camera aperta
	77%	23%

*Tabella 18. Classificazione caldaie domestiche autonome in Italia in base al tipo di aspirazione dell'aria (ATIG – Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).*

Per quanto riguarda il tipo di impianti, i generatori a temperatura scorrevole (definiti da ATIG come "Altre Hi Tech") e quelli a condensazione occupano secondo l'indagine dell'ATIG solo una posizione di nicchia nel

parco nazionale aggiornato al 2005 (4% a testa delle installazioni) , ma il loro ruolo è destinato a diventare sempre più rilevante in analogia con quanto successo nei paesi dell'Europa del nord (Olanda, Germania, Danimarca), dove la quasi totalità delle installazioni si basa su queste evoluzioni tecnologiche introdotte negli ultimi anni volte al miglioramento dei rendimenti medi stagionali e al risparmio di combustibile.

	tradizionali	condensazione	Altre High-Tech
Caldaie	92%	4%	4%

*Tabella 20. Diffusione in Italia delle caldaie per tecnologia di impianto (ATIG – Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).*

Sempre secondo ATIG, facendo un cenno alla funzionalità delle caldaie, più del 90 % di esse svolgeva la duplice funzione di riscaldamento degli ambienti e di produzione di acqua calda sanitaria (caldaie combinate). Di queste, la grande maggioranza era costituita da apparecchi in grado di scaldare l'acqua in modo quasi istantaneo, mentre solo una frazione di circa il 10 % era dotata di opportuni dispositivi di accumulo, come si riscontra nella tabella 21.

caldaie	Combinate istantanee	Combinate con accumulo	Solo riscaldamento
	82%	12%	6%

*Tabella 21. Classificazione caldaie domestiche autonome in Italia per funzionamento (ATIG – Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).*

Un'ultima osservazione relativa all'indagine è stata fatta sul tipo di collocazione delle caldaie nelle abitazioni. Sebbene la maggior parte di esse fosse installata all'interno delle abitazioni (circa l'87 %), o in locali termici dedicati, negli ultimi dieci anni si è preferita una collocazione degli impianti in esterno, tipicamente su balconi coperti (tabella 22). Si tratta di una scelta che permette di adempiere con maggiore facilità alle norme di sicurezza, liberando spazi all'interno dei locali ed eliminando il problema della rumorosità di esercizio.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> *Caratterizzazione delle emissioni di caldaie residenziali*, Rapporto CESI, 2005.

Caldai	Da interno	Da esterno
	87%	13%

Tabella 21. Classificazione caldaie domestiche autonome in Italia in base alla collocazione (ATIG – Utilizzo del gas naturale in Italia, quadro generale e mercato delle apparecchiature).

Anche Assotermica sempre relativamente al 2005, ha reso disponibili i dati che si riferiscono alle vendite di caldaie e bruciatori negli ultimi anni. Tra di essi si distinguono le caldaie a gas con bruciatore atmosferico, a loro volta suddivise in base alla configurazione della camera di combustione (aperta o stagna), alla funzionalità dell'apparecchio (solo riscaldamento, combinate) e alla tecnologia dell'impianto (modulanti, a condensazione); sono distinte inoltre le caldaie con bruciatori ad aria soffiata, classificate stavolta solo in base alla funzionalità dell'apparecchio (solo riscaldamento, combinate). In aggiunta Assotermica fornisce anche alcuni dati di vendita dei soli bruciatori, qualora essi vengano sostituiti singolarmente senza cambiare il corpo caldaia e l'impianto ad esso collegato. Elaborando i dati e cercando di uniformare le modalità di distinzione delle caldaie con quelle operate nel rapporto dell'ATIG, sono state raggiunte conclusioni coerenti con quelle elaborate da ATIG; pertanto, la rappresentazione dal parco caldaie nazionale aggiornata al 2005 appare sufficientemente definita precedentemente. In figura 11, 12, 13 viene fatto un rapporto tra i dati di ATIG ed Assotermica.

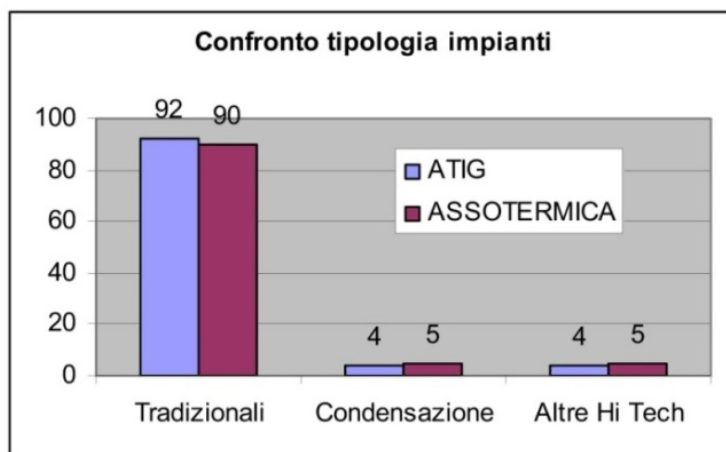


Figura 11. Confronto dei dati di ATIG e Assotermica sulla diffusione in Italia delle caldaie per tecnologia di impianto.(ATIG e Assotermica, 2005).

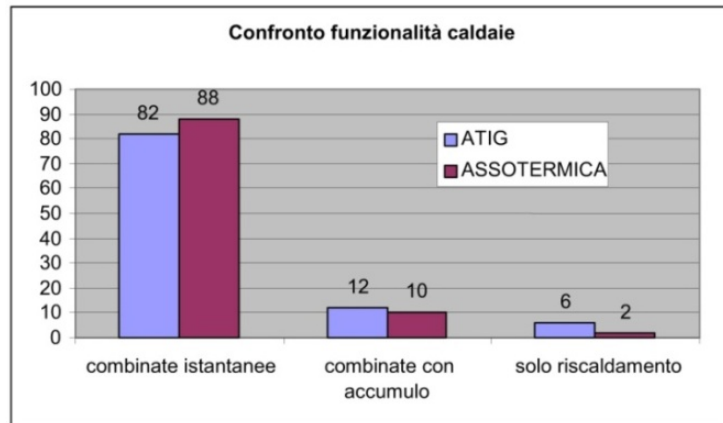


Figura 12. Confronto dei dati di ATIG e Assotermica sulla diffusione in Italia delle caldaie per funzionalità. (ATIG e Assotermica, 2005).

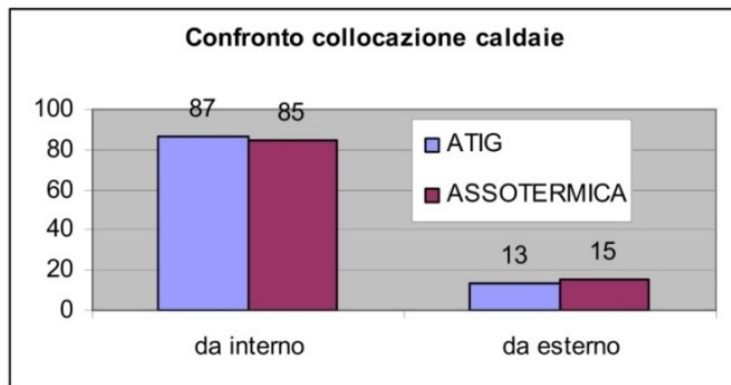


Figura 13. Confronto dei dati di ATIG e Assotermica sulla diffusione in Italia delle caldaie per collocazione. (ATIG e Assotermica, 2005).

Si può concludere dicendo che le due fonti forniscono dati simili<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Confronto dati ATIG e Assotermica relativi all'analisi parco caldaie nazionale del 2005.

### 3.5 Il calcolo delle emissioni

Per individuare i fattori di emissione degli apparecchi termici più diffusi e rappresentativi del riscaldamento residenziale in Italia, sono stati analizzati gli studi elaborati da SSC ed IPASS<sup>40</sup> ed ex CESI-Ricerca<sup>41</sup> (Caso Studio di Piacenza).

In entrambi i casi sono stati fatti dei test sugli apparecchi. Tali prove hanno messo a confronto diversi tipi di impianti dotati di diversi bruciatori e diverse potenze termiche, in diverse condizioni di esercizio e diverse condizioni di carico. Viene fatto un confronto per quanto riguarda la produzione di emissioni.

#### 3.5.1 Apparecchi termici considerati per effettuare il calcolo di emissioni

Nel caso del progetto di SSC ed IPASS, Il programma di prove effettuato per valutare la portata sull'inquinamento da parte dei combustibili in uso civile, include misure su un campione di impianti rappresentativo della reale diffusione degli impianti termici in Italia.

Una sezione del programma è dedicata a prove eseguite in laboratorio in condizioni di regolazione ottimali, così come in condizioni deliberatamente disottimizzate, in modo da acquisire indicazioni in merito all'entità delle variazioni di emissioni in caso di un eventuale non corretto esercizio degli impianti.

Un'altra parte del programma è dedicata all'esecuzione di misure in campo su impianti in condizioni reali di esercizio.

Le tipologie di impianto sulle quali si è articolata la fase sperimentale sono state distinte in tre classi, in base alla potenza nominale, riportate nella tabella 23. Tale classificazione è risultata essere sufficientemente rispondente alla diffusione reale degli impianti sul territorio nazionale in quanto comprensiva del tipico sistema autonomo monofamiliare (classe I), di un'unità idonea al riscaldamento di una palazzina da 20 -30 appartamenti (classe II) e di un'unità idonea a soddisfare le esigenze di un edificio di circa 50 appartamenti (classe III).

<i>Potenza nominale dell'impianto termico</i>	<i>Classe</i>
$\leq 75 \text{ kW}$	I
$75 \text{ kW} + 200 \text{ kW}$	II
$\geq 200 \text{ kW}$	III

Tabella 23. Classificazione in base alla potenza nominale, (SSC e IPASS, 2001).

---

<sup>40</sup> Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), Consorzio Ingegneria per l'Ambiente e lo Sviluppo Sostenibile (IPASS) Unità operativa dell'Università di Perugia. Al progetto hanno partecipato anche: Regione Lombardia, Regione Piemonte, Comitato Termotecnico Italiano (CTI), Unione Petrolifera, Enea, Assocostieri, Assopetroli.

<sup>41</sup> CESI-ricerche dal 2008 ha preso il nome di ERSE.

Le apparecchiature da sottoporre a verifica sono state selezionate orientando la scelta su apparecchi di combustione che avessero un livello tecnologico rappresentativo di un adeguato grado di diffusione sul mercato ed evitando di utilizzare apparecchi tecnologicamente molto avanzati, che potessero essere poco rappresentativi degli impianti in uso in Italia.

Per l'effettuazione delle misure sono stati appositamente realizzati presso la SSC due distinti impianti sperimentali:

- a) un impianto per le prove con caldaie autonome a gas (Classe I);
- b) un impianto termico per generatori a combustibili gassosi (Classi II e III) e liquidi (Classi I, II e III).<sup>42</sup>

Per consentire invece la caratterizzazione delle emissioni del parco caldaie esistente, ex CESI-Ricerca, nel Caso Studio di Piacenza elaborato nel 2005, ha effettuato un'indagine di mercato a livello locale che permettesse di individuare le marche e i modelli di caldaie domestiche maggiormente diffuse nelle abitazioni.

L'esecuzione di prove sugli stessi apparecchi porta come risultato logico ad un quadro delle emissioni inquinanti risultante che si avvicina il più possibile alla situazione reale. Presupposto che le suddette caldaie funzionino a gas naturale per le ragioni esposte in precedenza, la scelta va quindi ad interessare gli aspetti prettamente tecnologici, quali il tipo di bruciatore, la possibilità per l'apparecchio di funzionare in modulazione e l'eventualità di eseguire le prove su un apparecchio oggi non ancora molto diffuso come quello a condensazione, ma che nel futuro acquisterà un ruolo sempre più di primo piano.

Una opportuna combinazione di caldaie che rappresentasse adeguatamente il panorama nazionale degli apparecchi installati è stata rappresentata da:

- 1) Caldaia a camera aperta, con bruciatore convenzionale senza alcun dispositivo di modulazione dell'aria comburente, (Saunier Duval, modello "Themaclassic C 25 E" (n. 32 della tabella 25).
- 2) Caldaia a camera stagna con bruciatore a premiscelazione, modulazione dell'aria comburente e scambiatore con condensazione dei fumi di scarico, (Unical).
- 3) Caldaia a camera stagna con bruciatore a premiscelazione a basso tenore di NO<sub>x</sub> (classe 5 delle norme europee), (Immergas, modello "Eolo Eco" (n. 10 della tabella 25).
- 4) Caldaia a camera stagna e bruciatore convenzionale, già utilizzata e stressata per collaudi precedenti, (Unical).

---

<sup>42</sup> *Analisi Comparativa dei Combustibili ad uso Civile*, Rapporto SSC, 2005.

caldaia	Stato di usura	Potenza nominale (kW)	Rendimento termico (%)		tiraggio	bruciatore	condensazione
			$P_n$	$P_{rid}$			
<b>1</b>	nuovo	24,6	91,5	90,0	naturale	convenzionale	no
<b>2</b>	nuovo	24	95,9	93,4	forzato	Premiscelazione con modulazione dell'aria comburent e	si
<b>3</b>	nuovo	24	92,9	92,4	forzato	Premiscelazione a basso NOx	no
<b>4</b>	usato	24,2	91,3	89,9	forzato	convenzionale	no

$P_n$  = potenza termica nominale

$P_{rid}$  = potenza termica ridotta (30% carico nominale)

Tabella 24. Principali caratteristiche tecniche delle caldaie utilizzate nell'indagine, (S.Consonni, S.Cernuschi e A.Parenti, 2005).

Per poter fornire un quadro il più possibile completo e veritiero, realmente rappresentativo di quello che accade nel panorama urbano, è stato aggiunto ai primi tre modelli di caldaie nuove (tabella 24) un esemplare che ha già subito dei cicli di prova, il quarto.

In questo modo la gamma di dati che si riuscirà a ottenere dai campionamenti risulterà sicuramente più varia e completa, in quanto si terrà conto anche del fatto che le caldaie sotto osservazione, quelle installate sul territorio, potrebbero risentire di effetti peggiorativi sulle emissioni dovute all'usura dei singoli componenti, bruciatori e scambiatori di calore su tutti. La quarta caldaia (anch'essa con marchio Unical) che fa parte della elezione per i rilievi di laboratorio risulta quindi già "stressata".

La tabella 25 mostra tra le tipologie selezionate quali sono i modelli più diffusi.

	MARCA	MODELLO	TIPO	TIRAGGIO	POT [KW]	$\eta$ A Pmax	$\eta$ A Prid	Cond.
1	immergas	extra intra24	pensile	forzato	27,9	91	89,7	No
2	immergas	eolo 24 extra	pensile	forzato	27,9	92,9	90,9	No
3	immergas	zeus 24superior	pensile	forzato	27,9	91,9	87,3	No
4	immergas	eolo 24 superior plus	pensile	forzato	27,9	92,9	89,5	No
5	immergas	avio 24 maior	pensile	naturale	27,9	90,5	88	No
6	immergas	nike 24 superior	pensile	forzato	27,9	90	88,7	No
7	immergas	eolo star	pensile	forzato	23,3	90,4	88,5	No
8	immergas	zeus eco	pensile	forzato	24	92,8	91,5	No
9	immergas	extra eco	pensile	forzato	24	92,8	92,4	No
10	immergas	eolo eco 24	pensile	forzato	24	92,9/	92,4	No
11	immergas	hercules 24	basam	forzato	27,9/	91,9	87,3	No
12	immergas	nuova ares 25	basam	naturale	29,1	88,5	86	No
13	immergas	nuova ares 25CS	basam	forzato	29,1	89,5	86	No
14	immergas	hercules condensing 27	basam	forzato	31,4	98	97	Si
15	immergas	victrix 27	pensile	forzato	32	98,3	100,3	No
16	unical	iven04 rtn24	murale	naturale	23,88	89,76	87,3	No
17	unical	Eve CTFS	murale	forzato	24,2	91,34	89,93	No
18	unical	ivenb	murale	nat/for	24	90,45	/88,36	No
19	unical	entrofuori	murale	forzato	28,5	92,91	90,36	No
20	unical	enter	murale	forzato	24,3	89,77	87,15	No
21	unical	cutter b	basam	forzato	31	90,12	86,11	No
22	unical	cutter c	basam	forzato	31	91,12	86,11	No
23	unical	gea b	basam	naturale	30	-	-	No
24	unical	kondensal b	murale	forzato	28,37	95,91	93,36	Si
25	unical	Alkon C35	murale	forzato	24	95,91	93,36	Si
26	s.duval	isofast condens F30	murale	forzato	22,5	106,9	107,9	Si
27	s.duval	isofast C28E	murale	naturale	27,6	90	87	No
	MARCA	MODELLO	TIPO	TIRAGGIO	POT [KW]	$\eta$ A Pmax	$\eta$ A Prid	Cond.
28	s.duval	isofast F30E	murale	forzato	29,6	91	90	No
29	s.duval	isofast F30E H-mod	murale	forzato	29,6	91	90,7	No
30	s.duval	themafast C25E	murale	naturale	24,6	91,5	90	No
31	s.duval	themafast F25E	murale	forzato	24,6	91,3	91	No
32	s.duval	themaclassic C25E	murale	naturale	24,6	91,5	90	No
33	s.duval	themaclassic F25E	murale	forzato	24,6	92,7	88,4	No
34	s.duval	thematek C24E	murale	naturale	23,1	90	85	No
35	s.duval	isomax C28E	murale	naturale	27,6	90	86,7	No
36	s.duval	isotwin C24E	murale	naturale	23,7	90	86	No
37	s.duval	externa themalassic C24E	murale	nat/for	23,6	90/91	85,7/84,3	No
38	s.duval	integradeue F24E/F30E	murale	naturale	23,6	92,1	87,4	No
39	s.duval	integrain F24E	murale	forzato	23,6	92,1	87,4	No

Tabella 25. Modelli sul mercato delle tre principali case costruttrici di caldaie domestiche e caratteristiche principali, (CESI 2005).

### 3.5.2 I test effettuati sugli apparecchi termici

Ex CESI-Ricerca, sempre all'interno del caso studio di Piacenza, in collaborazione con il Politecnico di Milano, ha compiuto dei test sulle caldaie selezionate in un laboratorio dotato delle necessarie tecnologie.

I regimi utilizzati nell'indagine sperimentale, in termini del carico termico fornito all'utenza e della sua variabilità temporale, sono stati identificati sulla base delle caratteristiche e possibilità di modulazione di ogni singolo apparato, delle condizioni di funzionamento rappresentative dell'utilizzo reale e delle esigenze legate alle modalità di campionamento da adottare per la determinazione dei parametri di interesse.

Per l'esercizio stazionario i rilevamenti sono stati condotti in condizioni di massimo e minimo carico termico, corrispondenti rispettivamente alla potenza nominale ed al 30% della stessa.

Il regime di esercizio a carico variabile, in assenza di indicazioni normative sui protocolli da utilizzare, è



stato definito formulando due cicli di funzionamento, caratterizzati da una modulazione del carico termico e dalla presenza o meno di spegnimenti e riaccensioni dell'apparecchio. I regimi a carico variabile adottati sono:

- 1) Ciclo di funzionamento a carico variabile discontinuo con, funzionamento a carico termico massimo medio e minimo.
- 2) Ciclo di funzionamento a carico variabile continuo con funzionamento al carico termico medio, minimo e fino alla potenza massima.

Il programma di prove (tabella 26) per tutte le caldaie ha previsto l'esecuzione dei campionamenti in 2 assetti di esercizio, continuo e discontinuo a diverse % del carico termico:

- Esercizio *continuo* al 100% del carico termico nominale, valutato per tutte le unità;
- Esercizio *continuo* al carico termico minimo dell'apparecchio (in genere 30 %), valutato per tutte le unità;
- Esercizio a *carico variabile in discontinuo*, finalizzato alla simulazione delle condizioni di esercizio reali.
- Esercizio a *carico variabile in continuo*, valutato solo per l'unità a condensazione.

caldaia	Regime di carico
1	Continuo al carico termico nominale
1	Continuo al carico termico minimo
1	Carico variabile discontinuo
2	Continuo al carico termico nominale
2	Continuo al carico termico minimo
2	Carico variabile discontinuo
2	Carico variabile continuo
3	Continuo al carico termico nominale
3	Continuo al carico termico minimo
4	Continuo al carico termico nominale
4	Continuo al carico termico minimo

Tabella 26. Sintesi del protocollo di prove utilizzate nell'indagine sperimentale, (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

Ogni prova ha riguardato i seguenti rilievi: aldeidi, IPA, Acido acetico, SOV, CO, NOx (tabella 27).

Caldaia	# Prova	Tipo di prova	Durata della prova (min)	Inquinanti misurati					
				Aldeidi	Acido acetico	SOV	IPA	Macro-inquinanti	Polveri
Unical a condensazione	1	Continuo al 100% carico termico	325	X	X	X	X	X	
Unical a condensazione	2	Continuo al min carico termico	325	X	X	X	X	X	
Unical a condensazione	3	Transitorio on-off 100%, 50%, 20%	325	X	X	X	X	X	
Unical a condensazione	4	Transitorio modulato manualmente 50%, 100%, 20%	325	X	X	X	X	X	
Unical a condensazione	5	Continuo al 100% carico termico per polveri	800						X
Saunier-Duval	6	Continuo al 100% carico termico	325	X	X	X	X	X	
Saunier-Duval	7	Continuo al min carico termico	325	X	X	X	X	X	
Saunier-Duval	8	Transitorio on-off 100%, 50%, 20%	325	X	X	X	X	X	
Saunier-Duval	9	Continuo al 100% carico termico per polveri	800						X
Immergas	10	Continuo al 100% carico termico	325	X	X	X	X	X	
Immergas	11	Continuo al min carico termico	325	X	X	X	X	X	
Unical conv.	12	Continuo al 100% carico termico	325	X	X	X	X	X	
Unical conv.	13	Continuo al min carico termico	325	X	X	X	X	X	

Tabella 27. Elenco delle prove eseguite in laboratorio sulle caldaie domestiche con relative durate e inquinanti rilevati, (CESI, 2005).

Ex CESI-Ricerche ha svolto, sempre all'interno del Caso Studio di Piacenza, anche un'indagine relativa alle caldaie con potenza superiore a 35 kW elaborando un piano sperimentale che ha previsto la caratterizzazione delle caldaie a gas naturale ed a combustibile liquido, quest'ultimo nelle sue diverse forme: gasolio, biodiesel e olio combustibile.

Il quadro delle tipologie di apparecchiature più completo è disponibile per il gas naturale perché è il combustibile più diffuso e perché è distribuito in modo abbastanza omogeneo tra le diverse tipologie di utenze (domestico, artigianale, industriale, comunità, altro).

Nella tabella 28 è riportato lo spettro delle caldaie campionate in base alle possibili funzionalità degli apparecchi.

Per ogni tipologia di caldaia si evidenzia quali delle sostanze emesse sono rilevate e sottoposte ad analisi di laboratorio. Riguardo alla modalità di funzionamento della caldaia, la lettera "C" indica un funzionamento in continuo, mentre la lettera "I" indica che sono state svolte anche prove in condizioni di interruzioni temporizzate per simulare i cicli di accensione e spegnimento cui questi apparecchi sono sottoposti durante il

reale esercizio. Le prove sono state condotte su caldaie in esercizio regolare presso le sedi in cui sono installate.

Combustibile	Tipo di apparecchi	Modalità di Funzionamento	Parametro misurato									
			Inq.Conv. (CO <sub>2</sub> ,NOx, SO <sub>2</sub> )	Polveri	Metalli	Anioni-Cationi	Carbonio	IPA e Paraffine	Aldeidi	Acido Acetico	SOV	
Gas Naturale	Solo riscaldamento	C+I	X						X	X	X	X
	Combinare	C	X						X	X	X	X
	Condensazione	C	X						X	X	X	X
	Altre HI-TECH (modulanti)	C	X						X	X	X	X
Combustibile liquido: gasolio	Solo riscaldamento	C+I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Combustibile liquido: biodiesel	Solo riscaldamento	C+I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Combustibile liquido: olio combustibile	Solo riscaldamento	C+I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Altre HI-TECH (modulanti)	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabella 28. Classificazione delle caldaie campionate sul campo e delle analisi svolte, ( CESI, 2005).

Per ognuna delle categorie di combustibile si è cercato di individuare un numero di apparecchi sufficiente da dare rappresentatività dell'intero parco nazionale installato.

Il numero di caldaie caratterizzate sperimentalmente è riportato in tabella 29, dove risultano separati impianti di alta e bassa potenza (rispettivamente superiore e inferiore a 500 kW).

Combustibile	Tipo di apparecchi	Modalità di Funzionamento	Numero di caldaie provate < 500 kW	Numero di caldaie provate > 500 kW
Gas Naturale	Solo riscaldamento	C+I	5	1
	Combinare	C	1	0
	Condensazione	C	1	0
	Altre HI-TECH (modulanti)	C	2	2
Combustibile liquido: gasolio	Solo riscaldamento	C+I	2	0
Combustibile liquido:	Solo riscaldamento	C+I	3	0
Combustibile liquido: olio combustibile	Solo riscaldamento	C+I	0	2
	Altre HI-TECH (modulanti)	C	0	2

Tabella 31. Numero di caldaie campionate in base a funzionalità e tecnologia, ( CESI, 2005).

La campagna di campionamenti ha eseguito prove su apparecchi di vario tipo, includendo almeno un esemplare per ogni combustibile e per ogni fascia di potenza e tipo di tecnologia impiegata.

La mancanza di esemplari appartenenti alle fasce di minor potenza alimentati ad olio combustibile rispecchia la reale assenza sul territorio di questo tipo di apparecchiature, in quanto esso viene per lo più utilizzato in impianti di elevata potenza e per usi industriali, laddove è predominante la ricerca del risparmio sulla materia prima.

Allo stesso modo la mancanza di apparecchi a biodiesel a grande potenza è conseguenza del fatto che l'impiego di questo carburante di nuova generazione non è ancora molto diffuso e quindi lontano dall'essere impiegato in grossi fabbricati o industrie, anche per la mancanza di idonee quantità di biodiesel sul mercato.

Per tutte le tipologie di caldaie il monitoraggio è stato effettuato sui gas in emissione ai condotti fumi utilizzando sostanzialmente due sistemi:

- misure dirette per gli inquinanti convenzionali;
- campionamenti su opportune matrici e successiva analisi in laboratorio per gli inquinanti non convenzionali e microinquinanti.

Sia durante le misure dirette che durante i campionamenti è stata misurata la temperatura dei fumi al condotto di scarico. Le misure dirette sono state condotte in condizioni stabili della combustione (ove possibile), mentre i campionamenti sono stati fatti in regime di funzionamento continuo ed in regime di funzionamento intermittente (attivando interruzioni a tempi determinati sui bruciatori). I campionamenti a "funzionamento intermittente" sono stati effettuati su una caldaia per ogni tipo di combustibile.<sup>43</sup>

Per quanto concerne la ricerca di SSC ed IPASS, per ogni sistema combustibile-impianto, fissate le condizioni di regime per ogni livello di O<sub>2</sub> residuo nei fumi, si sono eseguite prove in condizioni stazionarie e in condizioni non stazionarie.

Per le prove sull'impianto di tipo a)<sup>44</sup> si sono monitorati i parametri riportati nella tabella 30,

---

<sup>43</sup> *Caratterizzazione delle emissioni di caldaie residenziali*, Rapporto CESI, 2005.

<sup>44</sup> a) un impianto per le prove con caldaie autonome a gas (Classe I);

b) un impianto termico per generatori a combustibili gassosi (Classi II e III) e liquidi (Classi I, II e III).

<i>Parametri termotecnici</i>	<i>Parametri analitici</i>
Temperatura acqua ingresso caldaia (°C)	Anidride carbonica (%)
Temperatura uscita caldaia (°C)	Monossido di carbonio (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI 9969, 1992 [F])
Portata acqua in caldaia (kg/h)	Ossidi di azoto (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI 10878, 2000 [G])
Portata gas naturale (Nm <sup>3</sup> /h)	Idrocarburi incombusti (COT) (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI EN 12619, 2002 [H])
Pressione gas agli ugelli	
Portata fumi (Nm <sup>3</sup> /h) (UNI 10169, 2001 [I])	
Temperatura fumi (°C)	
Ossigeno nei fumi (%) (DM 12.07.90, [J])	

*Tabella 30. Parametri termotecnici e analitici monitorati per gli impianti di classe I alimentati a gas, (SSC e IPASS, 2001).*

per quelle di tipo b)<sup>45</sup> i parametri riportati nella tabella 31:

<i>Parametri termotecnici</i>	<i>Parametri analitici</i>
Temperatura acqua ingresso caldaia (°C)	Anidride carbonica (%)
Temperatura uscita caldaia (°C)	Monossido di carbonio (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI 9969, 1992 [F])
Portata acqua in caldaia (kg/h)	Ossidi di azoto (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI 10878, 2000 [G])
Portata combustibile (kg/h)	Idrocarburi incombusti (COT) (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI EN 12619, 2002 [H])
Pressione in c.c. (mmH <sub>2</sub> O)	Anidride solforosa (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI 10393, 1995 [L])
Portata fumi (Nm <sup>3</sup> /h) (UNI 10169, 2001 [I])	Particolato totale (mg/Nm <sup>3</sup> ) (UNI EN 13284-1:2003, [K])
Temperatura fumi (°C)	PM 10 (mg/Nm <sup>3</sup> ) (EPA 201A [M])
Ossigeno nei fumi (%) (DM 12.07.90, [J])	IPA (ng/Nm <sup>3</sup> )
	Composti carbonilici (µg/Nm <sup>3</sup> ) (metodo interno SSC MOI CA01)
	Numero di Bacharach

*Tabella 31. Parametri termotecnici e analitici monitorati per gli impianti di classe I, II e III con combustibili liquidi e di classe II e III con combustibili gassosi, (SSC e IPASS, 2001).*

Nelle tabelle 30 e 31, tra parentesi, sono riportate le normative tecniche di riferimento ai sensi delle quali le prove sono state effettuate.

L'elenco delle prove effettuate in laboratorio, suddivise per le tre classi di impianto, è riportato in tabella 32 e 33.

<sup>45</sup> a) un impianto per le prove con caldaie autonome a gas (Classe I);

b) un impianto termico per generatori a combustibili gassosi (Classi II e III) e liquidi (Classi I, II e III)

Denominazione prova	Combustibile	Classe I ( <75 kW)	Condizioni di combustione	
		Tipo caldaia	Preriscaldamento combustibile	Aria comburente
1a	Gas naturale	Caldaia tipo B <sup>8</sup>	-	ottimale (14,2% O <sub>2</sub> )
2a	Gas naturale	Caldaia tipo C <sup>9</sup> (modello standard)	-	ottimale (7,8% O <sub>2</sub> )
3a	Gas naturale	Caldaia tipo C <sup>4</sup> (modello a microfiammelle )	-	ottimale(5,3% O <sub>2</sub> )
4a	Gasolio	Caldaia con bruciatore aria soffiata	- - -	ottimale (4% O <sub>2</sub> ) minimo (3% O <sub>2</sub> ) massimo (5% O <sub>2</sub> )
5a	Biodiesel	Caldaia con bruciatore aria soffiata	- - -	ottimale (4% O <sub>2</sub> ) minimo (3% O <sub>2</sub> ) massimo (5% O <sub>2</sub> )

Denominazione prova	Combustibile	Classe II ( 75KW ÷ 200 kW)	Condizioni di combustione	
		Tipo di bruciatore	Preriscaldamento combustibile	Aria comburente
1a	Gas naturale	Bruciatore F.B.R. Gas X 4/2 CE	- - -	ottimale (3,6% O <sub>2</sub> ) minimo (2,3% O <sub>2</sub> ) massimo (4% O <sub>2</sub> )
2a	Gasolio	Bruciatore Cuenod C 24 H 201	- - -	ottimale (3,1% O <sub>2</sub> ) minimo (2,5% O <sub>2</sub> ) massimo (4,3% O <sub>2</sub> )
3a	Gasolio emulsionato	Bruciatore Cuenod C 24 H 201	- - -	ottimale (3% O <sub>2</sub> ) minimo (2,2% O <sub>2</sub> ) massimo(4% O <sub>2</sub> )
4a (*)	Biodiesel	Bruciatore Cuenod C 24 H 201	- - -	ottimale (3,1% O <sub>2</sub> ) minimo (2% O <sub>2</sub> ) massimo (4% O <sub>2</sub> )
5a	Olio combustibile	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (5,2% O <sub>2</sub> ) minimo (4,2% O <sub>2</sub> ) massimo (6,2% O <sub>2</sub> )
5d	Olio combustibile	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (3,8% O <sub>2</sub> ) minimo(2,9% O <sub>2</sub> ) massimo (5,1% O <sub>2</sub> )
6a	Olio combustibile emulsionato	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (5,3% O <sub>2</sub> ) minimo (4,4% O <sub>2</sub> ) massimo (6,5% O <sub>2</sub> )
6d	Olio combustibile emulsionato	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (4,4% O <sub>2</sub> ) minimo (3,2% O <sub>2</sub> ) massimo (5,3% O <sub>2</sub> )
7a	Olio combustibile biodiesel	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (5,4% O <sub>2</sub> ) minimo (4,3% O <sub>2</sub> ) massimo (6,2% O <sub>2</sub> )
7d	Olio combustibile biodiesel	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (4% O <sub>2</sub> ) minimo (3,2% O <sub>2</sub> ) Massimo (5,3% O <sub>2</sub> )

Tabella 33. Programma riassuntivo delle prove di laboratorio, (SSC e IPASS, 2002).

8 caldaia tipo B: caldaia a camera di combustione aperta.

9 caldaia di tipo C: caldaia stagna (non consente la comunicazione tra camera di combustione e ambiente abitato).

Denominazione prova	Combustibile	Classe III ( $\geq 200\text{kW}$ )	Condizioni di combustione	
		Tipo di bruciatore	Preriscaldamento combustibile	Aria comburente
1a	Gas naturale	Bruciatore Cuenod C 34 G 207/8	- - -	ottimale (3,1% O <sub>2</sub> ) minimo (1,7% O <sub>2</sub> ) massimo (4,3% O <sub>2</sub> )
2a	Gasolio	Bruciatore Cuenod C 30 H 201	- - -	ottimale (3% O <sub>2</sub> ) minimo (2,3% O <sub>2</sub> ) massimo (4,1% O <sub>2</sub> )
3a	Gasolio emulsionato	Bruciatore Cuenod C 30 H 201	- - -	ottimale (3% O <sub>2</sub> ) minimo (2% O <sub>2</sub> ) massimo (4% O <sub>2</sub> )
4a	Biodiesel	Bruciatore Cuenod C 30 H 201	- - -	ottimale (3% O <sub>2</sub> ) minimo (2,1% O <sub>2</sub> ) massimo (4,2% O <sub>2</sub> )
5a	Olio combustibile	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (4,3% O <sub>2</sub> ) minimo (3,2% O <sub>2</sub> ) massimo (6,3% O <sub>2</sub> )
5d	Olio combustibile	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (3,5% O <sub>2</sub> ) minimo (2,5% O <sub>2</sub> ) massimo (4,9% O <sub>2</sub> )
6a	Olio combustibile emulsionato	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (5,4% O <sub>2</sub> ) minimo (4,4% O <sub>2</sub> ) massimo (6,4% O <sub>2</sub> )
6c	Olio combustibile emulsionato	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (3,1% O <sub>2</sub> ) minimo (4,4% O <sub>2</sub> ) massimo (5,2% O <sub>2</sub> )
7a (*)	Olio combustibile biodiesel	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	corretto corretto corretto	ottimale (5,3% O <sub>2</sub> ) minimo (4,4% O <sub>2</sub> ) massimo (6,2% O <sub>2</sub> )
7d	Olio combustibile biodiesel	Bruciatore Elco Klockner EK 3.50 SZA TZ	basso basso basso	ottimale (4,3% O <sub>2</sub> ) minimo (3,2% O <sub>2</sub> ) massimo (5,5% O <sub>2</sub> )

Tabella 33. Programma riassuntivo delle prove di laboratorio, (SSC e IPASS, 2002).

(\*)prove eseguite contestualmente da SSC e IPASS

### 3.5.3 Il calcolo delle emissioni e i fattori di emissione rilevati: attenzione specifica agli NOx

Nel caso del progetto di ricerca di SSC ed IPASS, i risultati delle prove in laboratorio in regime stazionario per rilevare le emissioni, sono riportati a seguire (tabelle da 34 a 42).

I valori di concentrazione degli inquinanti sono riferiti ai fumi secchi, alle condizioni *normali* di 0°C e 1013 mbar e a un contenuto di ossigeno residuo nei fumi pari al valore di riferimento, cioè il 3% in volume.

I valori riportati derivano da prove in condizioni di regolazione ottimali e successivamente in condizioni deliberatamente disottimizzate, al fine di acquisire indicazioni in merito all'entità della variazione delle emissioni in caso di eventuale non corretto esercizio degli impianti (prove eseguite con livello di ossigeno ottimale e condizioni corrette di preriscaldamento del combustibile, prove eseguite nelle condizioni di basso riscaldamento del combustibile, prove eseguite nelle condizioni di aria comburente non ottimali).

Classe	Num.	Note	Combustibile	Potenza	Portata	T	Portata	Umidità	Rendimento	Rendimento	T	T	T	Portata	Pressione
				termica kW	comb. kg/H <sub>2</sub> O Nm <sup>3</sup> /h	fumi °C	fumi Nm <sup>3</sup> /h	% vol.	UNI 10389 %	diretto %	ambiente °C	acqua ingresso °C	acqua uscita °C	acqua m <sup>3</sup> /h	camera comb. mmH <sub>2</sub> O
I	1a	Caldaiab	Gas naturale	25,1	2,59	92,4	80,0	8,0	92,7	89,0	24,9	59,7	76,7	1,0	-
	2a	Caldaiac	Gas naturale	25,2	2,63	138,7	44,0	14,4	93,5	91,5	24,4	60,0	80,0	1,1	-
	3a	Caldaiac microfiammelle	Gas naturale	27,7	2,89	92,0	44,5	15,7	96,4	96,1	22,6	60,0	80,0	1,2	-
	4a		Gasolio	44	3,6	216,7	60,0	10,0	90,5	-	15,3	68,0	80,0	2,3	0,3
	5a		Biodiesel	39	3,7	187,8	41,9	11,4	92,0	-	18,7	68,0	80,0	2,4	1,3
II	1a		Gas naturale	182	14,3	143,9	218,0	14,4	94,9	-	30,7	62,0	78,7	9,3	-
	2a		Gasolio	186	15,6	144,9	212,7	11,4	94,7	-	24,4	59,0	72,3	11,1	8,6
	3a		Gasolio em.	183	17,6	145,1	207,0	11,1	94,5	-	19,8	64,7	78,0	10,5	10,4
	4a		Biodiesel	177	17,1	145,0	206,0	10,9	94,5	-	20,8	65,7	79,7	10,7	9,9
	5a		Olio comb.	147	12,6	17,0	190,0	7,9	92,3	-	17,0	54,3	71,3	5,7	12,7
III	6a		O.C. emulsionato	155	15,4	165,6	199,0	8,6	92,7	-	20,7	50,7	69,7	6,4	10,6
	7a		Olio C./Biodiesel	166	14,3	177,1	194,0	8,5	91,8	-	21,0	60,0	75,0	8,5	10,0
	1a		Gas naturale	312	23,9	226,0	367,0	14,4	91,2	-	33,1	63,0	79,0	15,1	12,8
	2a		Gasolio	246	20,7	192,9	313,0	11,1	92,0	-	18,2	65,0	78,7	14,5	7,1
	3a		Gasolio em.	250	24,1	190,0	302,0	10,9	90,6	-	18,5	57,8	76,8	10,6	7,8
III	4a		Biodiesel	254	24,4	186,3	342,0	11,1	90,6	-	16,4	53,4	73,0	10,3	7,0
	5a		Olio comb.	323	27,7	262,9	424,0	8,4	88,2	-	17,2	61,0	79,7	13,3	15,1
	6a		O.C. emulsionato	273	27,2	237,4	358,0	8,6	88,9	-	18,0	60,0	78,3	11,8	14,3
	7a		Olio C./Biodiesel	285	24,7	255,7	372,0	7,3	88,2	-	21,0	60,3	79,7	11,2	16,0

Tabella 34

*Parametri termotecnici monitorati in laboratorio (condizioni ottimali di aria comburente e corretto preriscaldamento del combustibile), (SSC e IPASS, 2002).*



Classe Num.	Note	Combustibile	Polveri* mg/Nm <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> * mg/Nm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> * mg/Nm <sup>3</sup>	CO* mg/Nm <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> * % vol.	SO <sub>2</sub> * mg/Nm <sup>3</sup>	COT* mg/Nm <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> % vol.	Bacharach	Composti carbonilici					
												Formaldeide* µg/Nm <sup>3</sup>	Acetaldeide* µg/Nm <sup>3</sup>	Propionaldeide* µg/Nm <sup>3</sup>	Acroleina* µg/Nm <sup>3</sup>	% O <sub>2</sub> vol.	
I	1a	Caldaia B	<0,5	<0,5	349,7	111,7	11,0	-	7,8	14,2	-	25	50	-	-	-	13,7
	2a	Caldaia C	<0,5	<0,5	206,7	68,7	10,3	-	2,5	7,8	-	67	67	-	-	-	7,5
	3a	Caldaia C microfiammelle	<0,5	<0,5	31,2	102,7	10,6	-	1,3	5,3	-	34	11	126	-	-	5,3
II	4a	Gasolio	1,0	0,5	128,7	17,0	12,5	158,3	1,4	4,1	0	10	100	-	-	-	4,1
	5a	Biodiesel	<0,5	<0,5	111,3	34,9	12,6	<5	6,0	4,1	0	0,1	0,1	-	-	-	3,9
	1a	Gas naturale	<0,5	<0,5	94,9	3,5	10,4	<5	<0,4	3,6	0	10	11	-	-	-	3,6
	2a	Gasolio	<0,5	<0,5	179,4	5,6	13,0	144,3	<0,4	3,1	0	2	39,4	-	-	-	3,0
	3a	Gasolio em.	0,6	0,7	160,5	3,5	12,9	52,3	1,0	3,0	0	1,6	23,8	-	-	45,4	3,1
III	4a	Biodiesel	0,7	<0,5	151,1	3,0	13,2	<5	0,5	3,2	0-1	5,2	45,2	-	-	<0,8	2,9
	5a	Olio comb.	20,5	17,1	589,3	12,4	13,0	359,1	0,4	5,2	4	9	50	-	-	-	5,3
	6a	O. C. emulsionato	9,6 <sup>(1)</sup>	11,0 <sup>(2)</sup>	487,6	22,8 <sup>(3)</sup>	13,2	347,9	1,5	5,3	3	30	130	-	-	-	5,5
III	7a	Olio C./Biodiesel	12,0	10,7	559,0	12,4	13,2	339,2	0,5	5,4	2-3	20	70	-	-	-	5,3
	1a	Gas naturale	<0,5	<0,5	84,8	3,7	9,7	<5	0,7	3,1	0	92	48	-	-	-	3,1
	2a	Gasolio	<0,5	<0,5	181,2	7,4	12,9	138,7	0,9	3,1	0	20	210	-	-	-	3,2
	3a	Gasolio em.	2,8	2,7	129,3	17,0	13,5	46,6	<0,4	2,9	1	21	3	-	-	-	2,9
	4a	Biodiesel	<0,5	<0,5	155,1	8,1	12,9	<5	<0,4	3,0	0	51	9,5	-	-	-	3,1
	5a	Olio comb.	21,1	10,4	582,7	11,3	13,0	380,0	0,6	4,4	3	3	20	-	-	-	4,3
	6a	O. C. emulsionato	5,6 <sup>(1)</sup>	5,8 <sup>(2)</sup>	470,7	8,1	13,2	370,0	0,6	5,4	1	n.d.	n.d.	-	-	n.d.	n.d.
7a	Olio C./Biodiesel	9,5	9,5	512,3	6,1	13,2	321,4	0,9	5,3	1-2	7	20	10	-	-	5,3	

\* valori riferiti al 3% vol. di ossigeno nei fumi

Parametri analitici monitorati in laboratorio (condizioni ottimali di aria comburente e corretto preriscaldamento del combustibile), (SSC e IPASS, 2002).

- (1) valore medio di 3 misure
- (2) valore singolo
- (3) valore medio di 2 misure

Tabella 35

Classe	Num.	Note	Combustibile	Potenza termica KW	Portata comb. kg/1 <sup>o</sup> Nm <sup>3</sup> /h	T fumi °C	Portata fumi Nm <sup>3</sup> /h	Umidità		Rendimento UNI 10389 %	T ambiente °C	T acqua ingresso °C	T acqua uscita °C	Portata acqua m <sup>3</sup> /h	Pressione camera comb. mmH <sub>2</sub> O
								% vol.							
II	5d	basso riscaldamento	Olio comb.	169	14,5	1576	205,5	8,9		93,4	15,8	53,5	73,0	6,6	10,6
	6d	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	133	13,2	138,4	189,0	9,2		94,4	22,0	55,0	73,0	5,4	5,5
	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	168	14,6	170,9	196,3	8,3		92,8	19,0	60,3	75,3	6,4	8,7
III	5d	basso riscaldamento	Olio combustibile	314	27,0	252,9	362,5	10,0		89,2	17,8	62,0	80,0	13,2	15,8
	6c	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	254	25,3	220,8	362,0	9,3		90,2	17,0	52,0	72,0	11,4	11,0
	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	277	24,0	248,7	373,0	8,7		89,1	20,0	61,0	80,0	11,2	12,0

*Parametri termotecnici monitorati in laboratorio nelle condizioni di basso riscaldamento del combustibile, (SSC e IPASS, 2002).*

Tabella 36

Classe	Num.	Note	Combustibile	Polveri*	PM <sub>10</sub> *	NO <sub>x</sub> *	CO*	CO <sub>2</sub> *	SO <sub>2</sub> *	COT*	O <sub>2</sub>	Bacharach	Composti carbonilici				
													Formaldeide*	Acetaldeide*	Propionaldeide*	Acroleina*	O <sub>2</sub> %
II	5d	basso riscaldamento	Olio comb.	21,2	20,9	560,4	10,7	13,2	362,0	<0,4	3,9	4	20	20	-	-	3,8
	6d	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	10,0	10,0	469,3	37,7	13,2	378,0	0,9	4,4	3	10	60	-	-	4,2
III	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	11,1	11,1	543,7	10,5	13,4	372,9	<0,4	4,2	1-2	2	30	-	-	4,1
	5d	basso riscaldamento	Olio combustibile	58,7	33,9	520,5	16,6	13,1	381,5	0,6	3,6	4	<1	50	-	-	3,5
	6c	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	6,8	6,8	477,2	6,8	13,3	361,0	0,6	4,4	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	9,7	9,7	489,1	5,0	13,3	384,2	0,6	4,3	2	10	60	100	-	4,3

\* valori riferiti al 3% vol. di ossigeno nei fumi

*Parametri analitici monitorati in laboratorio nelle condizioni di basso riscaldamento del combustibile, (SSC e IPASS, 2002).*

Tabella 37

Classe	Num.	Note	Combustibile	Potenza termica kW	Portata comb. kg/h o Nm <sup>3</sup> /h	T fumi °C	Portata fumi Nm <sup>3</sup> /h	Umidità % vol.	Rendimento UNI 10389 %	T ambiente °C	T acqua ingresso °C	T acqua uscita °C	Portata acqua m <sup>3</sup> /h	Pressione camera comb. mmH <sub>2</sub> O
I	4a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	44	3,7	213	55,7	10,1	91,1	14	68	80	2,4	5,0
		O <sub>2</sub> alto		44	3,7	227	60,6	10,1	90,8	14	68	80	2,3	6,8
	5a	O <sub>2</sub> basso	Biodiesel	41	3,9	191	41,6	10,9	92,2	16	60	74	2,4	0,7
		O <sub>2</sub> alto		41	3,9	205	46,9	10,7	90,7	17,4	68	80	2,4	1,0
		O <sub>2</sub> basso		181	14,2	141	206	14,6	95,1	30,9	56	61	79	9,3
II	1a	O <sub>2</sub> alto	Gas naturale	182	14,3	145	221	14,1	94,7	32,5	61	79	9,2	-
		O <sub>2</sub> basso		187	15,7	143	205	11,3	94,6	19,5	62	78	9,2	10,2
	2a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	185	15,5	143	226	11,7	94,3	20,7	60	74	10,3	10,3
		O <sub>2</sub> alto		182	17,5	145	198	11,6	94,7	19,8	65	78	10,5	11,5
		O <sub>2</sub> basso		182	17,5	145	215	11,1	94,2	19,2	64	78	10,6	11,8
III	4a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio emulsionato	182	17,5	144	195	10,8	94,7	19,3	65	78	10,5	9,0
		O <sub>2</sub> alto		182	17,5	144	213	11,5	94,6	27,2	66	80	10,5	11,0
	5a	O <sub>2</sub> basso	Olio comb.	154(°)	13,2(°)	147(°)	179(°)	7,9(°)	93,7(°)	14,8(°)	50(°)	69(°)	6,5(°)	9,1(°)
		O <sub>2</sub> alto		149(°)	12,8(°)	166(°)	187,5(°)	6,8(°)	92(°)	14,5(°)	51(°)	71(°)	6(°)	12(°)
		O <sub>2</sub> basso		167	16,6	171	211	9,2	92,5	16	52	72	6,4	9,5
IV	6a	O <sub>2</sub> basso	O.C. emulsionato	165	16,4	184	211	8,7	91,2	20	52	72	6,3	13,0
		O <sub>2</sub> alto		167	14,5	170	174	7,6	92,8	20	59	79	6,7	10
	7a	O <sub>2</sub> basso	Olio C./Biodiesel	163	14,1	178	202	7,6	91,5	19	60	78	6,7	10
		O <sub>2</sub> alto		312	24,2	225	360	14,0	91,6	32,5	63	78	16,5	12,0
		O <sub>2</sub> basso		301	23,4	225	385	14,1	90,9	33,8	63	78	15,1	13,0
V	2a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	248	21,6	114	190,1	11,3	92,4	15,5	68	80	16,8	6,5
		O <sub>2</sub> alto		244	20,5	143	198,3	11,3	91,4	16,8	68	80	16,7	7,8
	3a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio emulsionato	237	22,8	182	293	11,1	93,0	16,1	60,2	79,6	9,5	-
		O <sub>2</sub> alto		237	22,8	186	311	10,7	92,2	17,3	60,3	77,9	10,5	-
		O <sub>2</sub> basso		237	22,8	185	322	11,5	93,2	25,2	59	77	10,6	-
VI	4a	O <sub>2</sub> basso	Biodiesel	237	22,8	193	353	11,3	92,0	20,1	60	78	9,9	-
		O <sub>2</sub> alto		300(°°°)	26(°°°)	243(°°°)	330(°°°)	9,2(°°°)	89,7(°°°)	15,2(°°°)	61(°°°)	81(°°°)	12,2(°°°)	10,5(°°°)
	5a	O <sub>2</sub> basso	Olio comb.	299(°°°)	25,7(°°°)	261(°°°)	424,7(°°°)	7,5(°°°)	87,0(°°°)	15,5(°°°)	61(°°°)	79(°°°)	12,5(°°°)	16,1(°°°)
		O <sub>2</sub> alto		237	23,6	208	309	8,7	90,9	20	60	75	12,5	11,6
		O <sub>2</sub> basso		248	24,7	229	367	8,5	88,7	19	62	80	11,7	11,8
7a	O <sub>2</sub> basso	O.C. emulsionato	282	24,4	250	354	9,6	88,9	18	61	80	11,3	12,5	
	O <sub>2</sub> alto		284	24,6	262	372	7,4	87,3	23	61	80	11,2	17	

*Parametri termotecnici monitorati in laboratorio nelle condizioni di aria comburente non ottimali, (SSC e IPASS, 2002).*

\* valori riferiti al 3 % vol. di ossigeno nei fumi

° valore medio su due prove

°° valore medio su tre prove

Tabella 38

Classe Num.	Note	Combustibile	Polveri <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	NOx <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	CO <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>†</sup> % vol.	SO <sub>2</sub> <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	COT <sup>†</sup> mg/Nm <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> % vol.	Bacharach	Composti carbonilici					O <sub>2</sub> <sup>††</sup> % vol.
												Formaldeide <sup>†</sup> µg/Nm <sup>3</sup>	Acetaldeide <sup>†</sup> µg/Nm <sup>3</sup>	Propionaldeide <sup>†</sup> µg/Nm <sup>3</sup>	Acroleina <sup>†</sup> µg/Nm <sup>3</sup>		
I	4a	O <sub>2</sub> basso	0,7	0,7	125,5	15,3	12,9	156,0	0,8	2,9	0	<0,5	80	-	-	3,0	
		O <sub>2</sub> alto	0,9	0,4	130,3	18,5	12,6	160,1	0,9	5,2	0	3	90	-	-	5,2	
		O <sub>2</sub> basso	<0,5	<0,5	141,5	25,7	15,0	<5	0,8	3,0	0	10	190	-	-	3,0	
		O <sub>2</sub> alto	<0,5	<0,5	153,7	41,8	15,2	<5	2,1	5,0	0	50	220	-	-	5,0	
		O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	97,8	4,0	9,81	<5	<0,4	2,3	0	317	127	-	-	2,3	
II	1a	O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	95,3	1,7	10,36	<5	<0,4	4,0	0	8,7	164	-	-	4,0	
		O <sub>2</sub> alto	<0,5	-	173,5	41,5	12,9	152,1	0,4	2,5	2	3,5	33,7	-	-	2,5	
		O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	196,6	2,8	12,9	153,0	0,5	4,3	0	<0,5	36,7	-	-	4,3	
		O <sub>2</sub> alto	0,8	-	139,0	5,8	12,9	53,7	0,8	2,2	1	1,8	4,4	-	-	<0,8	
		O <sub>2</sub> basso	0,7	-	149,1	3,7	12,6	53,4	0,8	4,0	0	2,6	8,7	-	-	<0,8	
III	4a	O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	140,5	8,4	13,3	<5	0,8	2,0	0	6,0	34,0	-	-	<0,8	
		O <sub>2</sub> alto	<0,5	-	157,5	2,6	13,1	<5	1,1	4,1	0	15,5	30,1	-	-	53,1	
		O <sub>2</sub> basso	26,8(†)	24,4(†)	559,1(†)	12,4(†)	13,2(†)	363,4(†)	<0,4(†)	4,2(†)	5	20	40	-	-	4,2	
		O <sub>2</sub> alto	20,2(†)	19,9(†)	592,4(†)	13,8(†)	13,0(†)	360,2(†)	0,4(†)	6,2(†)	6	<0,5	50	-	-	6,1	
		O <sub>2</sub> basso	10,1	9,8	465,5	17,8	13,2	345,9	1,2	4,4	3	10	80	-	-	4,4	
IV	6a	O <sub>2</sub> basso	9,8	9,3	530,4	19,4	13,2	366,1	1,6	6,5	3	20	50	-	-	6,5	
		O <sub>2</sub> alto	12,6	12,2	556,4	12,0	13,2	339,0	0,4	4,3	3	4	40	-	-	4,3	
		O <sub>2</sub> basso	12,6	12,6	555,3	13,3	13,2	336,5	0,5	6,2	3	4	20	-	-	6,2	
		O <sub>2</sub> alto	<0,5	-	85,8	7,4	9,9	<5	1,1	1,7	0	8,5	17	-	-	1,7	
		O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	80,6	1,5	9,8	<5	<0,4	4,3	0	10,1	43	-	-	4,3	
V	2a	O <sub>2</sub> basso	0,5	-	178,4	7,9	12,9	140,5	2,4	2,3	0	10	150	-	-	2,3	
		O <sub>2</sub> alto	0,8	-	188,4	5,2	12,9	143,1	0,8	4,1	0	10	143	-	-	4,1	
		O <sub>2</sub> basso	4,9	-	168,9	148,8	12,0	50,3	<0,4	2,0	2	72	24	-	-	2,0	
		O <sub>2</sub> alto	3,1	-	208,1	6,9	12,5	47,6	0,4	4,0	1	12	9	-	-	4,0	
		O <sub>2</sub> basso	1	-	143,9	92,2	12,8	<5	0,8	2,1	0	15,6	11,9	-	-	2,1	
VI	4a	O <sub>2</sub> basso	<0,5	-	167,6	3,6	12,8	<5	<0,4	4,2	0	10,6	10,2	-	-	4,2	
		O <sub>2</sub> alto	39,1(†)	26,2(†)	529,0(†)	16,4(†)	13,3(†)	386,3(†)	0,8(†)	3,2(†)	4	<0,5	40	-	-	3,2	
		O <sub>2</sub> basso	17,3(†)	13,0(†)	608,1(†)	13,2(†)	13,1(†)	373,5(†)	<0,4(†)	6,2(†)	2	7	40	-	-	6,1	
		O <sub>2</sub> alto	6,3	5,9	486,6	7,6	13,4	365,0	<0,4	4,4	2	n.d.	n.d.	-	-	n.d.	
		O <sub>2</sub> basso	6,3	6,3	494,4	7,8	13,2	366,8	0,6	6,4	1	n.d.	n.d.	-	-	n.d.	
VII	6a	O <sub>2</sub> basso	10,6	10,3	490,8	8,1	13,2	336,0	0,5	4,4	2	10	40	-	-	4,4	
	7a	O <sub>2</sub> alto	9,1	8,8	534,3	8,6	13,1	334,4	0,6	6,2	1	5	10	-	-	6,2	

Parametri analitici monitorati in laboratorio nelle condizioni di aria comburente non ottimali. (SSC e IPASS, 2002).

Tabella 39



Secondo i risultati delle prove sperimentali ottenute dalla ricerca di SSC e IPASS è stato possibile determinare i fattori di emissione per le specie inquinanti monitorate in regime stazionario.

Il fattore di emissione di ogni specie inquinante, espresso in g/GJ e riferito al particolare sistema combustibile/impianto monitorato in regime stazionario, può essere calcolato partendo dall'analisi del combustibile, dal suo potere calorifico inferiore e dai valori di concentrazione dei vari inquinanti riferiti al 3% di O<sub>2</sub> su base secca. Si calcola infatti un coefficiente relativo a ciascun combustibile e a ciascun impianto (indicato nelle tabelle con la denominazione di *fattore*) che permette di passare dai mg/Nm<sup>3</sup> dell'inquinante, riferiti al 3% di O<sub>2</sub> e ai fumi secchi, al relativo fattore di emissione in mg/GJ.

I dati di concentrazione degli inquinanti monitorati in laboratorio in regime stazionario sono stati desunti per le misure relative alle condizioni corrette di preriscaldamento dei combustibili e ottimali di aria comburente, per le prove nelle condizioni di basso riscaldamento del combustibile e infine per le prove nelle condizioni di aria comburente non ottimali.

I risultati relativi al calcolo dei fattori di emissione relativi agli inquinanti monitorati nelle prove in regime stazionario in laboratorio sono nelle tabelle 40, 41 e 42.

Classe	Num.	Note	Combustibile	Fattore	Polveri	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	COT	O <sub>2</sub>
					g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	kg/GJ	g/GJ	g/GJ	% vol.
I	1a	Caldia B	Gas naturale	278,7	0,14	0,14	97,46	31,13	60,18	n.d.	2,17	14,2
	2a	Caldia C	Gas naturale	278,2	0,14	0,14	57,51	19,11	56,26	n.d.	0,70	7,8
	3a	Caldia C microfiammelle	Gas naturale	278,3	0,14	0,14	8,68	28,58	57,92	n.d.	0,36	5,3
	4a		Gasolio	286,1	0,29	0,14	36,83	4,86	70,22	45,30	0,40	4,1
	5a		Biodiesel	272,1	0,14	0,14	30,29	9,50	67,31	1,36	1,63	4,1
II	1a		Gas naturale	278,3	0,14	0,14	26,41	0,97	56,82	1,39	0,11	3,6
	2a		Gasolio	285,2	0,14	0,14	51,34	1,60	73,02	41,29	0,11	3,1
	3a		Gasolio em.	292,5	0,18	0,20	46,95	1,02	74,08	15,30	0,29	3,0
	4a		Biodiesel	276,1	0,19	0,14	41,72	0,83	71,55	1,38	0,14	3,2
	5a		Olio comb.	282,6	5,79	4,83	166,53	3,50	72,12	101,48	0,11	5,2
	6a		O. C. emulsionato	295,4	2,84	3,25	144,01	10,93	76,53	102,75	0,44	5,3
	7a		Olio C./Biodiesel	280,9	3,40	3,03	158,25	3,51	73,36	96,03	0,14	5,4
III	1a		Gas naturale	278,6	0,14	0,14	23,63	1,03	53,06	1,39	0,20	3,1
	2a		Gasolio	283,7	0,14	0,14	51,40	2,10	71,84	39,35	0,26	3,1
	3a		Gasolio em.	295,3	0,83	0,80	38,18	5,02	78,26	13,76	0,12	2,9
	4a		Biodiesel	276,9	0,14	0,14	42,94	2,24	70,11	1,38	0,11	3,0
	5a		Olio comb.	278,5	5,88	2,90	162,26	3,15	71,06	105,82	0,17	4,4
	6a		O. C. emulsionato	295,4	1,62	1,68	136,29	2,35	75,03	107,13	0,17	5,4
	7a		Olio C./Biodiesel	280,9	2,67	2,67	143,92	1,71	72,80	90,29	0,25	5,3

Tabella 40. Fattori di emissione sperimentali per le prove in laboratorio in regime stazionario (condizioni ottimali di aria comburente e corretto preriscaldamento del combustibile), (SSC e IPASS, 2002).

Classe	Num.	Note	Combustibile	Fattore	Polveri g/GJ	PM <sub>10</sub> g/GJ	NO <sub>x</sub> g/GJ	CO g/GJ	CO <sub>2</sub> kg/GJ	SO <sub>2</sub> g/GJ	COT g/GJ	O <sub>2</sub> % vol.
II	5d	basso riscaldamento	Olio comb.	282,6	5,99	5,91	158,36	3,02	73,23	102,30	0,11	3,9
	6d	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	295,4	2,95	2,95	138,61	11,13	76,53	111,64	0,27	4,4
	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	280,9	3,12	3,12	152,73	2,95	73,89	104,75	0,11	4,2
III	5d	basso riscaldamento	Olio combustibile	278,5	16,35	9,44	144,94	4,62	71,61	106,23	0,17	3,6
	6c	basso riscaldamento	O. C. emulsionato	295,4	2,01	2,01	140,94	2,01	77,11	106,62	0,18	4,4
	7d	basso riscaldamento	Olio C./Biodiesel	280,9	2,73	2,73	137,40	1,40	73,35	107,93	0,17	4,3

Valore inferiore al limite di rilevabilità strumento

Tabella 41. Fattori di emissione sperimentali per le prove in laboratorio in regime stazionario nelle condizioni di basso riscaldamento del combustibile, (SSC e IPASS, 2002).

Classe	Num.	Note	Combustibile	Fattore	Polveri g/GJ	PM <sub>10</sub> g/GJ	NO <sub>x</sub> g/GJ	CO g/GJ	CO <sub>2</sub> kg/GJ	SO <sub>2</sub> g/GJ	COT g/GJ	O <sub>2</sub> % vol.
I	4a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	286,1	0,20	0,20	35,91	4,38	72,46	44,64	0,23	2,9
		O <sub>2</sub> alto		286,1	0,26	0,11	37,29	5,29	70,78	45,81	0,26	5,2
	5a	O <sub>2</sub> basso	Biodiesel	272,1	0,14	0,14	38,50	6,99	80,13	1,36	0,22	3
		O <sub>2</sub> alto		272,1	0,14	0,14	41,82	11,37	81,20	1,36	0,57	5
II	1a	O <sub>2</sub> basso	Gas naturale	278,3	0,14	-	27,22	1,11	53,59	1,39	0,11	2,3
		O <sub>2</sub> alto		278,3	0,14	-	26,52	0,47	56,60	1,39	0,11	4
	2a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	285,2	0,80	-	49,48	11,84	72,23	43,38	0,11	2,5
		O <sub>2</sub> alto		285,2	0,14	-	56,07	0,80	72,23	43,64	0,14	4,3
	3a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio emulsionato	292,5	0,23	-	40,66	1,70	74,08	15,71	0,23	2,2
		O <sub>2</sub> alto		292,5	0,20	-	43,62	1,08	72,36	15,62	0,23	4
	4a	O <sub>2</sub> basso	Biodiesel	276,1	0,14	-	38,80	2,32	72,09	1,38	0,22	2
		O <sub>2</sub> alto		276,1	0,14	-	43,49	0,72	71,01	1,38	0,30	4,1
	5a	O <sub>2</sub> basso	Olio comb.	282,6	7,57	6,90	157,99	3,50	73,23	102,69	0,11	4,2
		O <sub>2</sub> alto		282,6	5,71	5,62	167,41	3,90	72,12	101,79	0,11	6,2
	6a	O <sub>2</sub> basso	O.C. emulsionato	295,4	2,98	2,89	137,49	5,26	76,53	102,16	0,35	4,4
		O <sub>2</sub> alto		295,4	2,89	2,75	156,66	5,73	76,53	108,13	0,47	6,5
	7a	O <sub>2</sub> basso	Olio C./Biodiesel	280,9	3,54	3,43	156,29	3,37	72,79	95,23	0,11	4,3
		O <sub>2</sub> alto		280,9	3,54	3,54	155,98	3,74	72,79	94,52	0,14	6,2
III	1a	O <sub>2</sub> basso	Gas naturale	278,6	0,14	-	23,90	2,06	54,14	1,39	0,31	1,7
		O <sub>2</sub> alto		278,6	0,14	-	22,46	0,42	53,60	1,39	0,11	4,3
	2a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio	283,7	0,14	-	50,61	2,24	71,84	39,86	0,68	2,3
		O <sub>2</sub> alto		283,7	0,23	-	53,45	1,48	71,84	40,60	0,23	4,1
	3a	O <sub>2</sub> basso	Gasolio emulsionato	295,3	1,45	-	49,88	43,94	69,57	14,85	0,12	2
		O <sub>2</sub> alto		295,3	0,92	-	61,46	2,04	72,47	14,06	0,12	4
	4a	O <sub>2</sub> basso	Biodiesel	276,9	0,28	-	39,84	25,53	69,57	1,38	0,22	2,1
		O <sub>2</sub> alto		276,9	0,14	-	51,94	1,00	69,57	1,38	0,11	4,2
	5a	O <sub>2</sub> basso	Olio comb.	278,5	10,89	7,30	147,31	4,57	72,70	107,57	0,22	3,2
		O <sub>2</sub> alto		278,5	4,82	3,62	169,34	3,68	71,61	104,01	0,11	6,2
	6a	O <sub>2</sub> basso	O.C. emulsionato	295,4	1,86	1,74	143,72	2,24	77,69	107,80	0,12	4,4
		O <sub>2</sub> alto		295,4	1,86	1,86	146,02	2,30	76,53	108,34	0,18	6,4
	7a	O <sub>2</sub> basso	Olio C./Biodiesel	280,9	2,98	2,89	137,88	2,28	72,80	94,39	0,14	4,4
		O <sub>2</sub> alto		280,9	2,56	2,47	150,10	2,42	72,25	93,94	0,17	6,2

n.d. Valore non misurato

Valore inferiore al limite di rilevabilità strumento

Tabella 42. Fattori di emissione sperimentali per le prove in laboratorio in regime stazionario nelle condizioni di aria comburente non ottimali, (SSC e IPASS, 2002).

I fattori di emissione relativi agli NOx mostrano che per la classe I il biodiesel e il gasolio presentano valori abbastanza bassi; valori modesti si riscontrano anche per il gas naturale, fortemente dipendenti dalla tipologia di caldaia utilizzata. Per le altre classi i valori sono più o meno paragonabili. Le emissioni di anidride carbonica sono paragonabili per i diversi combustibili.

I risultati delle prove effettuate in condizioni di basso riscaldamento del combustibile hanno mostrato che non si hanno variazioni apprezzabili dei fattori di emissione rispetto a quelli relativi alle condizioni di preriscaldamento corretto. L'influenza delle condizioni di aria comburente non ottimali comporta un modesto aumento dei valori di NOx nelle misure effettuate con percentuale di ossigeno maggiore di quella ottimale. Nelle tabelle 43, 44 e 45 vediamo il comportamento degli NOx nei vari casi di combustibili e apparecchi termici e nelle diverse condizioni di funzionamento.

<b>Classe I</b>	<b>n.</b>	<b>Combustibile</b>	<b>NOx (g/GJ)</b>
	1a	Gas nat.	97,46
	2a	Gas nat.	57,51
	3a	Gas nat.	8,68
	4a	Gasolio	36,83
	5a	Biodiesel	30,29
<b>Classe II</b>	1a	Gas nat.	26,41
	2a	Gasolio	51,34
	3a	Gasolio emul.	56,95
	4a	Biodiesel	41,72
	5a	Ol. Comb.	166,53
	6a	Ol. Comb. emul.	144,01
	7a	Ol. comb/biod.	158,25
<b>Classe III</b>	1a	Gas nat.	23,63
	2a	Gasolio	51,40
	3a	Gasolio emul.	38,18
	4a	Biodiesel	42,94
	5a	Ol. Comb.	162,26
	6a	Ol. comb. emul	136,29
	7a	Ol. com/biod.	143,92

*Tabella 43. Tabella relativa ai fattori di emissioni espressi in g/GJ per il funzionamento in regime stazionario in condizioni ottimali di aria comburente e corretto preriscaldamento del combustibile. (Inquinamento. La ricerca: obiettivi, metodologie ed evidenze scientifiche, A. Fiumara 2005).*



<b>Classe II</b>	<b>n.</b>	<b>Combustibile</b>	<b>NOx (g/GJ)</b>
	5d	Olio comb.	158,36
	6d	O.C. emulsionato	138,61
	7d	Olio C./biodiesel	152,73
<b>Classe III</b>	5d	Olio combustibile	144,94
	6c	O.C. emulsionato	140,94
	7d	Olio C./biodiesel	137,40

*Tabella 44. Tabella relativa ai fattori di emissioni espressi in g/GJ per il funzionamento in regime stazionario in condizioni di basso riscaldamento del combustibile. (Inquinamento. La ricerca: obiettivi, metodologie ed evidenze scientifiche, A. Fiumara 2005).*

<b>Classe I</b>		<b>n.</b>	<b>Combustibile</b>	<b>NOx (g/GJ)</b>
	O <sub>2</sub> basso	4a	Gasolio	35,91
	O <sub>2</sub> alto			37,29
	O <sub>2</sub> basso	5a	biodiesel	38,50
	O <sub>2</sub> alto			41,82
<b>Classe II</b>	O <sub>2</sub> basso	1a	Gas nat.	27,22
	O <sub>2</sub> alto			26,52
	O <sub>2</sub> basso	2a	Gasolio	49,48
	O <sub>2</sub> alto			56,07
	O <sub>2</sub> basso	3a	Gasolio emul.	40,66
	O <sub>2</sub> alto			43,62
	O <sub>2</sub> basso	4a	Biodiesel	38,18
	O <sub>2</sub> alto			43,94
	O <sub>2</sub> basso	5a	Ol. Comb.	157,99
	O <sub>2</sub> alto			167,41
	O <sub>2</sub>	6a	Ol. Comb.	137,49

	basso		emul.	
	O <sub>2</sub> alto			156,66
	O <sub>2</sub> basso	7a	Ol. comb/biod.	156,29
	O <sub>2</sub> alto			155,98
<b>Classe III</b>	O <sub>2</sub> basso	1a	Gas nat.	23,90
	O <sub>2</sub> alto			22,46
	O <sub>2</sub> basso	2a	Gasolio	50,61
	O <sub>2</sub> alto			53,45
	O <sub>2</sub> basso	3a	Gasolio emul.	49,88
	O <sub>2</sub> alto			61,46
	O <sub>2</sub> basso	4a	Biodiesel	39,84
	O <sub>2</sub> alto			51,94
	O <sub>2</sub> basso	5a	Ol. Comb.	147,31
	O <sub>2</sub> alto			169,34
	O <sub>2</sub> basso	6a	Ol.	143,72
	O <sub>2</sub> alto		comb. emul	146,02
	O <sub>2</sub> basso	7a	Ol. com/biod.	137,88
	O <sub>2</sub> alto			150,10

*Tabella 45. Tabella relativa ai fattori di emissioni espressi in g/GJ per il funzionamento in regime stazionario in condizioni di aria comburente non ottimali di aria comburente e corretto preriscaldamento del combustibile. (Inquinamento. La ricerca: obiettivi, metodologie ed evidenze scientifiche, A. Fiumara 2005).*

La sperimentazione è stata valutata anche in condizioni di regime transitorio valutando la variazione dei fattori di emissione in funzione del numero di cicli di accensione e spegnimento secondo i quali può funzionare il generatore di calore nelle condizioni reali di esercizio.

Essa si basa considerando che le prove in regime transitorio sono state eseguite impostando una serie ripetuta di cicli di accensione/spegnimento della durata di 20 minuti ciascuna, di cui 14 di accensione e 6 di spegnimento.

Le emissioni che hanno mostrato di risentire maggiormente dell'influenza di questo stato di funzionamento dell'impianto sono NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> che subiscono una variazione significativa, rispetto al regime stazionario,

della concentrazione degli altri inquinanti. Dall'analisi qualitativa dei tracciati di ciascuna prova, si è proceduto alla selezione dei picchi maggiormente significativi, al fine di ottenere una valutazione media che escludesse anomalie o singolarità dei risultati.<sup>46</sup>

Il maggior contributo all'inquinamento atmosferico dei periodi transitori, è risultato essere specialmente nelle caldaie monofamiliare.

In campo le prove sono state condotte su impianti in condizioni di reale esercizio, ovvero non preventivamente manomessi o tarati. Le misure sono state effettuate in due diverse condizioni: in regime stazionario e in regime transitorio. Quest'ultima costituisce una vera e propria novità in materia e conferisce originalità all'indagine e ai risultati ottenuti, permettendo di valutare l'influenza delle fasi di accensione e spegnimento degli impianti nelle condizioni reali di funzionamento intermittente.

Per quanto riguarda il risultato, gli scostamenti maggiori si evidenziano per i fattori di emissione di CO e NO<sub>x</sub>, inquinanti fortemente dipendenti dalla concentrazione di O<sub>2</sub> nei fumi e dalla temperatura di combustione.

I fattori di emissione trovati in laboratorio e in campo sono per tutti gli inquinanti in accordo tra loro e molto lontani da quelli consentiti dalle normative vigenti; dal confronto tra le emissioni del gas naturale e del gasolio in impianti di classe I, II, III non sono state rilevate differenze sensibili, anzi in qualche caso le emissioni sono a sfavore del gas naturale.

Secondo le analisi condotte dalla ricerca di ex CESI-Ricerca per il caso studio di Piacenza invece, per quanto riguarda le caldaie con potenza inferiore a 35 kW, il complesso dei risultati dell'indagine per CO, NO<sub>x</sub> ed SO<sub>2</sub> è riportato nelle tabelle da 46 a 49 che sintetizzano, per ogni singola utenza e per ognuno dei regimi di esercizio indagati, le concentrazioni all'emissione ed i corrispondenti tenori di ossigeno dei gas registrati durante le misurazioni.

Per rendere omogeneo il confronto, i valori di concentrazione riportati nelle tabelle 46, 47, 48, e 49 sono quelli normalizzati al 3% di ossigeno nei fumi secchi in condizioni di temperatura e pressione normali ( 0°C 2 101,3 kPa), che rappresentano le condizioni di riferimento usualmente adottate per combustioni a gas naturale.

---

<sup>46</sup> *Analisi Comparativa dei Combustibili ad uso Civile*, Rapporto SSC, 2005.

Regime di esercizio	O <sub>2</sub> (% vol)	Concentrazioni (mg/m <sup>3</sup> @ 3%O <sub>2</sub> )			Fattori di emissione (g/GJ)		
		CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>
Contunuo max carico	9,0	73,8	181,8	5,3	25,3	62,3	1,8
Continuo min carico	16,2	118,7	157,4	18,1	40,6	53,9	6,2
Variabile discontinuo	14,0	155	201,4	16,3	53,1	69	5,6

Tabella 46. Concentrazioni e fattori di emissione dei macroinquinanti rilevanti durante l'indagine per la caldaia 1 <sup>47</sup> (convenzionale a tiraggio naturale), (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

Regime di esercizio	O <sub>2</sub> (% vol)	Concentrazioni (mg/m <sup>3</sup> @ 3%O <sub>2</sub> )			Fattori di emissione (g/GJ)		
		CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>
Contunuo max carico	3,6	123,1	51,5	4,7	42,2	17,8	1,6
Continuo min carico	3,5	41,3	58,5	3,3	14,1	20,1	1,1
Variabile discontinuo	10,3	169,7	47,6	7,7	58,1	16,3	2,6
Variabile continuo	3,3	82,7	57,5	7,1	28,4	19,9	2,4

Tabella 47. Concentrazioni e fattori di emissione dei macroinquinanti rilevanti durante l'indagine per la caldaia 2 <sup>48</sup> (bruciatore a premiscelazione/modulazione e scambiatore a condensazione), (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

Regime di esercizio	O <sub>2</sub> (% vol)	Concentrazioni (mg/m <sup>3</sup> @ 3%O <sub>2</sub> )			Fattori di emissione (g/GJ)		
		CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>
Contunuo max carico	9,8	51,1	83,5	7,3	17,5	28,6	2,5
Continuo min carico	16,5	27	29	31,7	8,1	8,7	10,9

Tabella 48. Concentrazioni e fattori di emissione dei macroinquinanti rilevanti durante l'indagine per la caldaia 3 <sup>49</sup> (bruciatore a premiscelazione a basso NO<sub>x</sub>), (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

<sup>47</sup> Caldaia a camera aperta, con bruciatore convenzionale senza alcun dispositivo di modulazione dell'aria comburente, (Saunier Duval, modello "Themaclassic C 25 E").

<sup>48</sup> Caldaia a camera stagna con bruciatore a premiscelazione, modulazione dell'aria comburente e scambiatore con condensazione dei fumi di scarico, (Unical).

Regime di esercizio	O <sub>2</sub> (% vol)	Concentrazioni (mg/m <sup>3</sup> @ 3%O <sub>2</sub> )			Fattori di emissione (g/GJ)		
		CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>
Contunuo max carico	7,0	85,3	247	17	29,1	84,6	5,8
Continuo min carico	14,1	20,3	196,5	32	6,9	67,3	11,0

Tabella 49. Concentrazioni e fattori di emissione dei macroinquinanti rilevanti durante l'indagine per la caldaia 4 <sup>50</sup> (camera stagna usata con bruciatore convenzionale), (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

Nelle tabelle 46, 47, 48 e 49, sono mostrati i risultati pervenuti tramite la ricerca di CESI-Ricerca.

Le emissioni di NO<sub>x</sub> al carico massimo risultano comprese tra circa 18 ed 85 g/GJ, corrispondenti a concentrazioni tra circa 50 e 250 mg/m<sup>3</sup> al 3% di O<sub>2</sub>. Gli apparecchi a tecnologia avanzata si collocano su livelli decisamente inferiori a quelli convenzionali, con prestazioni molto interessanti per l'apparecchio con bruciatore a modulazione (caldaia 2), caratterizzato dalle emissioni più basse in assoluto (18 g/GJ) ed inferiori anche a quelle rilevate sull'unità con configurazione dedicata al controllo degli NO<sub>x</sub> (caldaia 3), pari a 29 g/GJ: la riduzione spinta dell'eccesso d'aria pare in tal modo influenzare la produzione di NO<sub>x</sub> più che quella del CO, confermando le difficoltà nel controllo simultaneo delle loro presenze agendo unicamente su tale parametro.

Nell'esercizio continuo a carico minimo i fattori di emissione si collocano tra circa 9 e 70 g/GJ, con le corrispondenti concentrazioni comprese tra circa 30 e 200 mg/m<sup>3</sup> al 3% di O<sub>2</sub>. Rispetto al funzionamento al carico massimo, i valori rilevati presentano riduzioni relativamente generalizzate per tutte le caldaie che appaiono correlabili, in linea con l'origine degli NO<sub>x</sub> nella combustione del gas naturale, alle variazioni apportate nell'eccesso d'aria, come illustrato dagli andamenti riportati nelle figure 14e 15.

Tale effetto risulta confermato dall'apparecchio a condensazione (caldaia 2) che, operando in un regime di modulazione che mantiene costante il rapporto aria/combustibile, non presenta differenze significative nell'emissione rilevata nelle due condizioni di esercizio (18 g/GJ e 20 g/GJ, rispettivamente a carico massimo e minimo).

Così come nell'esercizio a carico nominale, anche nel funzionamento a carico ridotto le prestazioni emissive degli apparecchi convenzionali risultano qualitativamente inferiori: l'impianto usato presenta altresì le emissioni di maggior consistenza assoluta, con incrementi apprezzabili rispetto al dato rilevato

<sup>49</sup> Caldaia a camera stagna con bruciatore a premiscelazione a basso tenore di NO<sub>x</sub> (classe 5 delle norme europee), (Immergas, modello "Eolo Eco").

<sup>50</sup> Caldaia a camera stagna e bruciatore convenzionale, già utilizzata e stressata per collaudi precedenti, (Unical).

sull'apparecchio nuovo di configurazione più simile (atmosferica convenzionale). Il funzionamento a carico variabile non evidenzia, rispetto all'esercizio in continuo, sostanziali differenze come quelle rilevate nel caso del CO, con un leggero incremento per l'utenza convenzionale ed emissioni pressoché inalterata per quella a premiscelazione e modulazione. Anche l'effetto delle interruzioni nel funzionamento appare di scarso significato, come evidenziano le modeste variazioni rilevate per la caldaia 2 nel ciclo discontinuo ed in quello continuo senza interruzioni.<sup>51</sup>

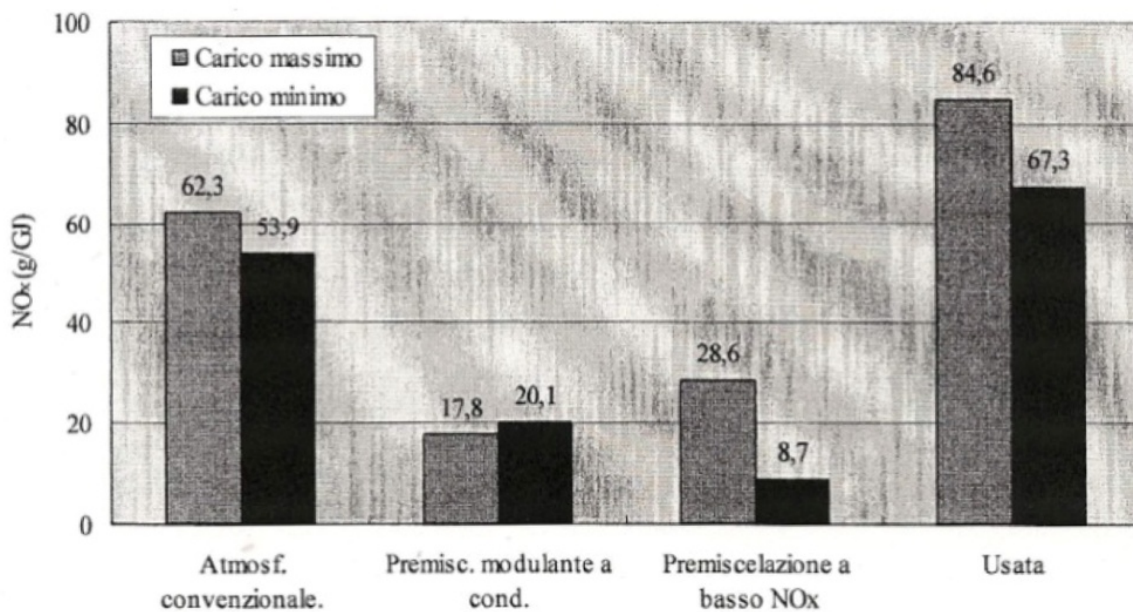


Figura 14. Fattori di emissione NOx rilevanti durante l'esercizio continuo a carico termico costante, (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

<sup>51</sup> Studio di ricerca S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005

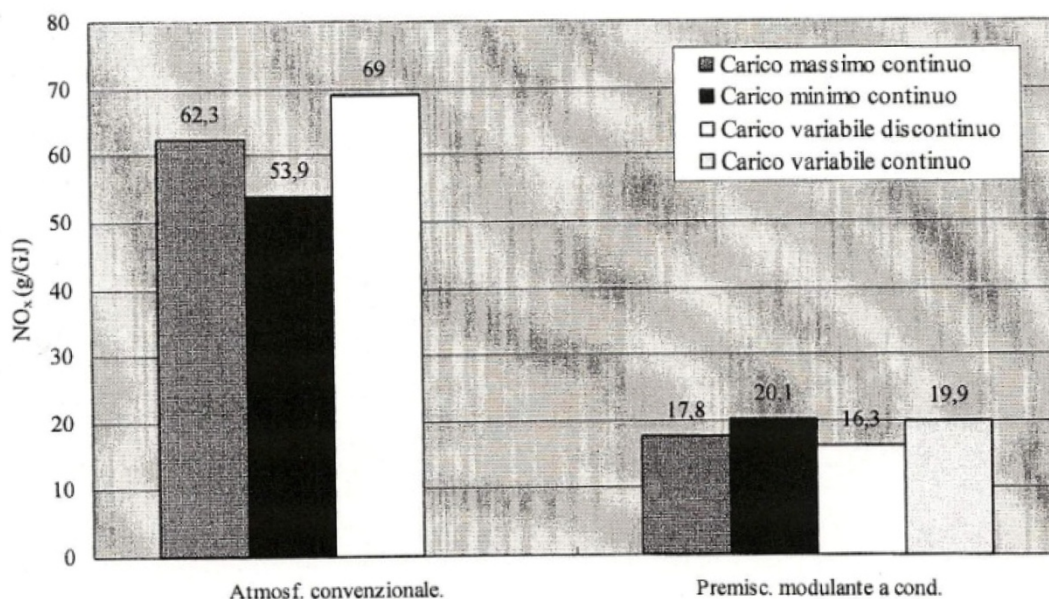


Figura 15. Fattori di emissione di NO<sub>x</sub> rilevati durante l'esercizio a carico termico costante ed a carico termico variabile, (S.Consonni, S.Cernuschi, A.Parenti, 2005).

Secondo le analisi condotte da CESI-Ricerca per quanto riguarda le caldaie con potenza inferiore a 35 kW, come si note nella figura 15, le prestazioni migliori sui macroinquinanti sono fornite dalla caldaia Unical a condensazione, che è il modello tecnologicamente più avanzato. In particolare i bassi valori di emissione di NO<sub>x</sub> e la loro stazionarietà in diverse condizioni di esercizio la classificano nella classe 5, la più efficiente definita dalle norme europee.

La stessa classe vale per la caldaia Immergas, dotata di un bruciatore a premiscelazione, che però mostra minore regolarità delle emissioni al variare del carico.

Si nota inoltre che i picchi di emissione più elevati di monossido di carbonio si hanno in caso di funzionamento intermittente, come già anticipato. Tali picchi sono associati ad elevati valori di NO<sub>x</sub> solo per la caldaia Saunier Duval.

Un'ulteriore osservazione si può fare sull'effetto che ha l'invecchiamento della caldaia sulle sue prestazioni: il modello di caldaia a camera stagna dotata di bruciatore convenzionale e già stressata per collaudi precedenti fornisce delle emissioni leggermente maggiori della caldaia Immergas, e le quantità emesse sono simili a quelle della caldaia a camera aperta. Si conferma pertanto che l'invecchiamento della caldaia incide in maniera significativa sulle prestazioni ambientali della caldaia stessa.

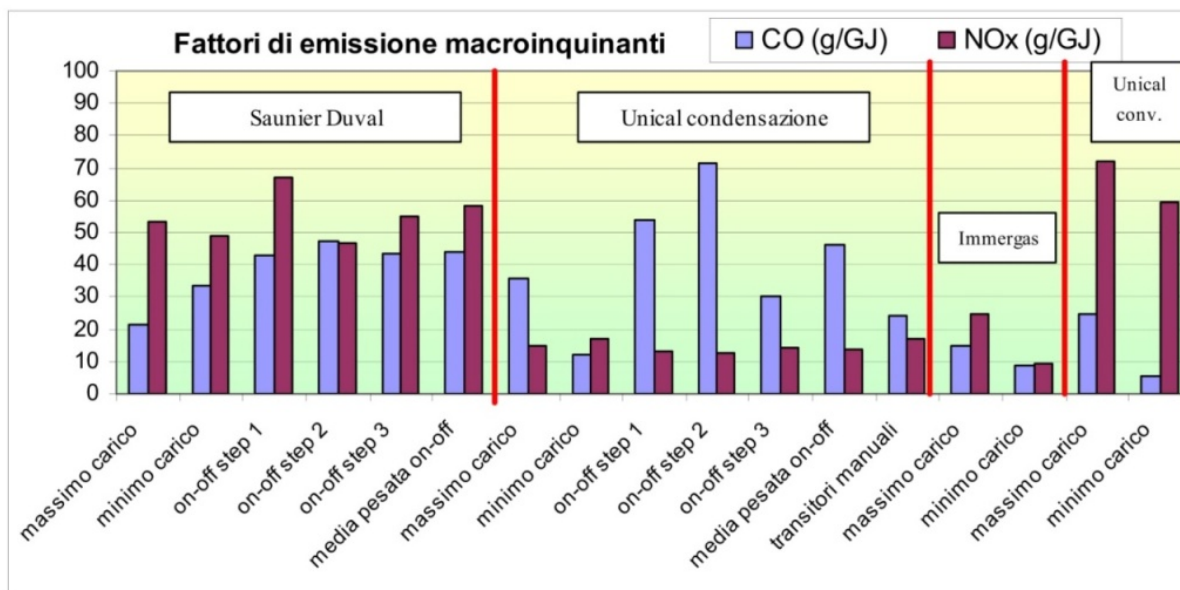


Figura 16. Fattori di emissione dei macroinquinanti per le caldaie domestiche campionate, (CESI, 2005).

A seguire, nelle tabelle 50 e 51 e nella figura 17, sono riportati i valori mediani di tutte le prove effettuate da ex CESI sempre riferendosi al progetto di ricerca sul Caso Studio di Piacenza riguardo le emissioni di inquinanti convenzionali misurati però sulle caldaie di potenza superiore a 35 kW.

A partire dai dati di esercizio delle caldaie e dai risultati sperimentali si è quindi proceduto all'elaborazione dei fattori di emissione mediante l'impiego del programma di calcolo messo a punto dal Politecnico di Milano e denominato "GASPRO"<sup>52</sup>. Tale programma, una volta inseriti i dati relativi alla composizione del combustibile e alla quantità di ossigeno nei fumi, calcola il volume di questi ultimi, che, opportunamente elaborato, consente la determinazione dei fattori di emissione. Nella tabella 50 si riportano i fattori di emissione calcolati con GASPRO e, nella tabella 51 si riportano i valori medi.

<sup>52</sup> Elaborazione attraverso il programma di calcolo GASPRO messo a punto dal Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano.



Tipo di combustione	Tipo di caldaia	funzionamento	Concentrazioni				
			O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	CO mg/Nm <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> mg/Nm <sub>3</sub>	Polveri mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Combustibile gas naturale</b>	Solo riscaldamento	C+I	8,1	7,4	3,7	<0,01	-
	combinata	C	2,8	10,6	<0,01	<0,01	-
	condensazione	C	12,2	5,5	16,2	<0,01	-
	Hi- Tech	C	10,8	6,4	39,4	<0,01	-
<b>gasolio</b>	Solo riscaldamento	C+I	9,0	8,6	12,5	18,6	3,6
<b>biodiesel</b>	Solo riscaldamento	C+I	13,5	5,4	3,7	0,00	0,08
<b>Olio combustibile</b>	Solo riscaldamento	C+I	4,1	12,4	15,6	80,1	46,1
	Hi - Tech	C	10,2	8,4	21,9	15,6	28,0

Tabella 50. Emissioni di microinquinanti per le caldaie centralizzate campionate,( CESI, 2005).

Combustibile	Tipo di apparecchi	Numero di esemplari campionati	CO [g/GJ]	NO <sub>x</sub> [g/GJ]	SO <sub>2</sub> [g/GJ]
Gas Naturale	Solo riscaldamento	6	1 - 2	30 - 41	0
	Combinata	1	0	37	1
	Condensazione	1	10	7	0
	Altre HI-TECH (modulanti)	4	1 - 48	24 - 60	0 - 1
Gasolio	Solo riscaldamento	2	0 - 7	23 - 41	5 - 9
Biodiesel	Solo riscaldamento	3	1 - 5	30 - 37	0 - 1
Olio combustibile	Solo riscaldamento	2	4 - 5	167 - 182	15 - 31
	Altre HI-TECH (modulanti)	2	1 - 23	149 - 154	< 12

Tabella 51. Fattori di emissione di inquinanti convenzionali delle caldaie campionate (range) calcolati tramite il programma GASPRO, (Politecnico di Milano).

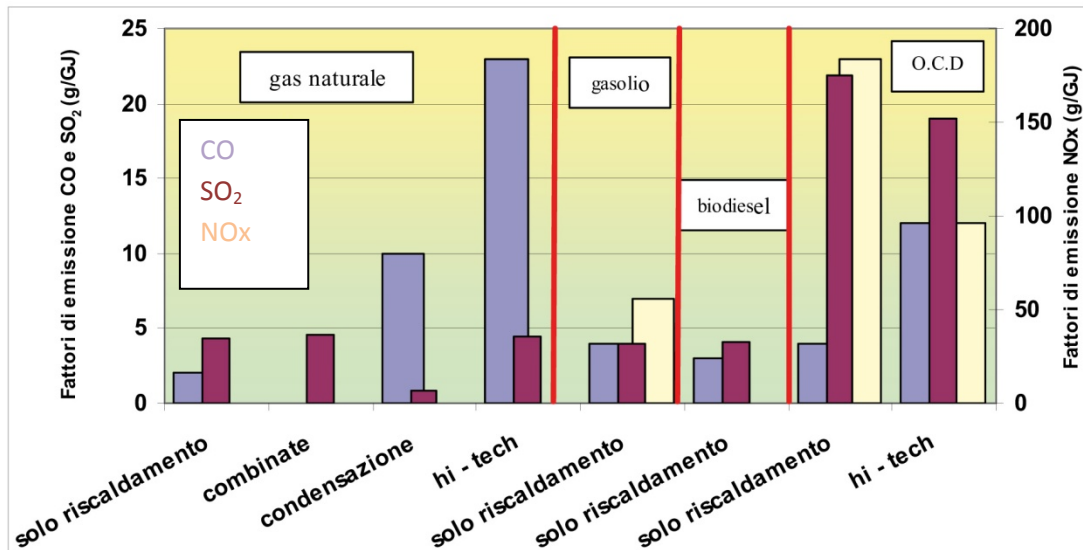


Figura 17. Fattori di emissione caldaie campionate (valori medi), calcoli tramite il programma GASPRO (Politecnico di Milano).

Dall'analisi (figura 17) dei risultati si osserva che quasi tutte le caldaie campionate appartengono alla classe 3 classe intermedia tra le categorie che ordinano le caldaie in base alla quantità di NO<sub>x</sub> prodotta. Solo la caldaia a condensazione spicca come modello particolarmente ecologico, grazie alla tecnologia innovativa di cui dispone. Interessante inoltre è la drastica diminuzione delle emissioni di SO<sub>2</sub> ed NO<sub>x</sub> al passaggio da olio combustibile denso a gasolio tradizionale e soprattutto biodiesel.

### 3.5.4 Analisi statistica dei fattori di emissione

Al fine di valutare l'influenza della potenzialità della caldaia sul fattore di emissione è stata effettuata un'analisi statistica dei fattori di emissione da parte della ricerca SSC e IPASS.

Sono stati calcolati, per il combustibile, i valori medi, massimi e minimi e la deviazione standard dei fattori di emissione degli inquinanti monitorati (non sono stati presi in considerazione i valori ottenuti con condizioni di basso preriscaldamento del combustibile, i cui effetti sono descritti separatamente). L'analisi effettuata permette di individuare un intervallo di variabilità delle grandezze misurate, che consente di valutare l'influenza della potenzialità e della tipologia del generatore di calore sulle emissioni prodotte. Poiché la ricerca condotta da SSC e IPASS ha dedicato una parte della sperimentazione ad impianti "sul campo" per vederne poi le differenze con i test condotti in laboratorio, si è osservata una buona corrispondenza tra i valori di laboratorio e quelli degli impianti in campo.

Gli scostamenti maggiori, come si vede nella tabella 52, si evidenziano per i fattori di emissione di CO e NO<sub>x</sub>, inquinanti fortemente dipendenti dalla concentrazione di O<sub>2</sub> nei fumi e dalla temperatura di combustione: i fattori di emissione delle prove di laboratorio si riferiscono infatti alle condizioni ottimali di funzionamento dell'impianto (O<sub>2</sub> ottimale di combustione) opportunamente determinate; gli impianti in

campo sono stati invece monitorati in condizioni reali di esercizio, sulle quali non è stato possibile agire. Per quanto riguarda la variazione del fattore di emissione di una determinata specie inquinante in funzione della potenza, è difficile individuare una tendenza generale; la dipendenza più marcata si presenta per le emissioni di CO: i fattori di emissione sperimentali (g/GJ) rappresentati in funzione della potenza nominale (kW), mostrano una diminuzione (approssimabile con una legge esponenziale) all'aumentare della potenza dell'impianto.

Combustibile			Polveri (g/GJ)	PM <sub>10</sub> (g/GJ)	CO(g/GJ)	CO <sub>2</sub> (g/GJ)	SO <sub>2</sub> (g/GJ)	COT(g/GJ)
Gas Naturale	Prove laboratorio	Valore medio	0,14	0,14	16,17	56,85	1,39	0,71
		Valore min	0,14	0,14	0,97	53,06	1,39	0,11
		Valore max	0,14	0,14	0,97	53,06	1,39	0,11
		Dev Standard	-	-	14,55	60,18	-	2,17
	Prove in campo	Valore medio	0,29	-	11,13	54,12	1,39	0,90
		Valore min	0,14	-	4,06	51,39	1,39	0,90
		Valore max	0,45	-	24,43	56,87	1,39	1,75
		Dev Standard	0,22	-	11,52	2,74	-	0,78

Tabella 52. Analisi statistica dei fattori di emissione e confronto tra prove di laboratorio e prove in campo in regime stazionario, (SSC e IPASS, 2002).

Si può dire concludendo che nonostante gli sforzi profusi negli ultimi anni, i modelli attuali non riescono a mantenere rapporti aria/combustibile costanti: il tenore di ossigeno nei fumi passa infatti dal 7-9% alla potenza nominale al 13-16% alla potenza minima; fa eccezione la caldaia avanzata a condensazione, che riesce a mantenere un tenore di ossigeno nei fumi inferiore al 4% sia al carico nominale sia al carico minimo. I modelli avanzati a pre-miscelazione comportano riduzioni significative delle emissioni per gli NOx mentre per il CO il miglioramento appare evidente al carico minimo ma non al carico nominale; d'altro canto, il modello avanzato a premiscelazione a basso NOx evidenzia emissioni relativamente di COV e CH<sub>4</sub>. Le condizioni di usura dell'apparecchio sembrano influenzare le emissioni di NOx e CH<sub>4</sub> incombusto, mentre quelle di CO e COV non metanici appaiono in linea con quelle dei modelli nuovi. Il funzionamento intermittente comporta un certo aumento delle emissioni di CO (maggiore per il bruciatore atmosferico

convenzionale) e, come prevedibile, un forte aumento delle emissioni di CH<sub>4</sub> e COV non metanici; per quanto riguarda quest'ultimo punto non emergono invece effetti sulle NO<sub>x</sub>.

### **3.6. Involucro edilizio, impianti termici ed emissioni di NO<sub>x</sub>**

Al fine di indagare sulla relazione che intercorre tra involucro edilizio, sistemi di riscaldamento ed emissioni è stato analizzato il recente studio di ricerca realizzato per conto del gruppo Generatore di Energia Termica ad Alta Efficienza L.E.A.P.<sup>53</sup>.

Dalle analisi effettuate risulta necessario prestare attenzione alla progettazione dell'impianto e alla scelta della potenza della caldaia in relazione all'edificio in cui viene installata. Queste scelte sono influenzate dalle dispersioni termiche dell'edificio, dai fabbisogni di energia primaria e dai rendimenti, in presenza di determinate condizioni climatiche e di esposizione.

La ricerca realizzata per conto di LEAP è risultata molto utile per capire come poter ridurre i consumi, ottimizzare le prestazioni, aumentare il comfort all'interno degli ambienti e quindi ridurre l'impatto ambientale.

È stato studiato il comportamento di quattro categorie di edifici rappresentanti le tipologie più diffuse sul territorio nazionale (come riferimento medio è stato considerato un edificio a tre piani con 12 appartamenti e situato nella zona climatica E). Ad ognuna di queste corrispondeva un involucro rappresentativo: uno risalente al 2010, uno al 2006, uno agli anni '60 e uno agli anni '30.

Su ognuno di questi involucri, tramite simulazione<sup>54</sup>, sono state fatte delle considerazioni sulle prestazioni degli impianti autonomi e centralizzati dotati di generatore tradizionale e a condensazione e con terminali ad alta o bassa temperatura.

È stato possibile dunque avere un quadro in grado di fornire delle informazioni sulla incidenza della relazione impianto/edificio e, quindi in grado di sottolineare l'importanza della scelta in caso di nuova installazione o sostituzione di un apparecchio.

L'efficienza dell'impianto varia a seconda della tipologia dell'involucro. L'orientamento incide sul fabbisogno di energia.

Nel caso di un edificio con una tipologia di involucro rappresentativa dell'anno 2010, conseguentemente al calcolo delle dispersioni termiche di progetti, dei fabbisogni per riscaldamento ed dei relativi rendimenti

---

<sup>53</sup> "Efficienza energetica ed impatto ambientale degli impianti termici, autonomi e centralizzati, nel contesto normativo nazionale e regionale", realizzato da LEAP, presentato il 25 marzo 2010 in sede del Convegno Assotermica.

<sup>54</sup> Il comportamento dei sistemi analizzati è stato simulato in conformità alla Norma UNI TS 11300. In particolare è stato valutato il rendimento in:

- Regime di funzionamento continuo (solo per edificio rappresentativo dell'anno 2010), utilizzando i valori di temperatura esterna media mensile desunti dalla norma UNI 10349;
- Regime di funzionamento intermittente.

dell'impianto termico, per quanto riguarda i sistemi autonomi, risulta che impianti alimentati da generatori a condensazione presentano rendimenti più elevati, dal momento che rispetto alle caldaie tradizionali, consentono il recupero del calore di transizione di fase del vapore contenuto nei fumi.

L'utilizzo di terminali a bassa temperatura da un lato aumenta il rendimento termico utile (soprattutto se abbinati con caldaie a condensazione), dall'altro penalizza il rendimento di produzione (causa maggiori assorbimenti elettrici degli ausiliari) e quello globale (causa perdite di distribuzione più elevate). Terminali ad alta temperatura, al contrario, riducono il valore del rendimento termico utile, ma richiedono minori assorbimenti elettrici del circolatore e presentano minori perdite di distribuzione, andando a favorire l'impianto per quanto riguarda i rendimenti di produzione e globale.

Negli impianti autonomi il consumo di energia primaria necessaria al funzionamento degli ausiliari è molto rilevante al punto che, gli impianti autonomi che utilizzano terminali di emissione ad alta temperatura, nonostante il rendimento termico utile sia inferiore rispetto agli impianti con terminali a bassa temperatura, sono energeticamente più efficienti. Il consumo degli ausiliari è il fattore di maggiore perdita negli impianti autonomi e quindi l'utilizzo di terminali ad alta temperatura incrementa il rendimento globale medio stagionale.

Negli impianti centralizzati, in quelli autonomi la soluzione con caldaia a condensazione è più efficiente rispetto a quella tradizionale e l'utilizzo di terminali a bassa temperatura, da un lato migliora il rendimento termico utile della caldaia, dall'altro aumenta l'assorbimento elettrico degli ausiliari (si ottiene una maggiore differenza tra rendimento termico utile e rendimento di produzione) e le perdite della rete di distribuzione (si ottiene una maggiore differenza tra rendimento di produzione e rendimento globale). Gli impianti con terminali ad alta temperatura sono energeticamente più efficienti di quelli che utilizzano terminali a bassa temperatura, ma con caldaia condensazione tali differenze si riducono, dato che le basse temperature favoriscono il recupero del calore di transizione di fase del vapore contenuto nei fumi.

Si evidenzia come con generatore tradizionale l'impianto autonomo è più efficiente del centralizzato, mentre con caldaia a condensazione la situazione si inverte. Nel centralizzato le perdite di efficienza sono dovute principalmente alla distribuzione e all'accumulo (maggiore differenza tra rendimento di produzione e rendimento globale), mentre nell'autonomo sono causate dall'assorbimento degli ausiliari (maggiore differenza tra rendimento termico utile e rendimento di produzione). Gli impianti centralizzati presentano maggior consumo di energia primaria del generatore, dovuto alle perdite dalla rete di distribuzione e dell'accumulo, mentre gli impianti autonomi presentano maggiori assorbimenti elettrici degli ausiliari.

Il fabbisogno di energia primaria, in cui il consumo di energia elettrica degli ausiliari è stato riportato i termini di energia primaria, evidenzia come le differenze di fabbisogno di energia primaria (quindi del costo di combustibile) sia a volte a favore dell'autonomo a volte a favore del centralizzato. Le differenze in termini di costo del combustibile sono quindi estremamente contenute: non si può pertanto affermare quale sia la soluzione energeticamente più efficiente tra impianto autonomo e centralizzato. Inoltre l'efficienza di un impianto è fortemente influenzata da numerosi parametri, quali assorbimenti elettrici, modalità di controllo e

qualità dei componenti, che sono molto variabili da impianto ad impianto. Ad esempio, un centralizzato con una rete di distribuzione estesa risulterebbe, con molta probabilità, meno efficiente di un autonomo, a causa dell'incremento delle perdite relative al sottosistema di distribuzione.

Alla luce dei risultati ottenuti appare evidente che per determinare quale sia la soluzione impiantistica energeticamente più efficiente, risulti indispensabile analizzare ogni soluzione tecnica adottata nella realizzazione dell'impianto stesso. Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione e gestione dei sottosistemi di regolazione e distribuzione dell'impianto, che risultano determinanti nel determinare l'efficienza energetica globale.

Nel confronto tra impianti autonomi e centralizzati sono stati analizzate le emissioni inquinanti di NO<sub>x</sub> ed anche CO. Ne è risultato che l'utilizzo di un generatore a condensazione, rispetto ad uno tradizionale, riduce le emissioni di NO<sub>x</sub>, ma non quelle di CO. Le emissioni di NO<sub>x</sub> con caldaia tradizionale sono minori nel centralizzato, mentre con quella a condensazione lo sono nell'autonomo. Le emissioni di monossido di carbonio, invece sono sempre più basse negli impianti centralizzati.

Nel caso di un edificio considerato di recente costruzione (2006), l'andamento dei rendimenti termico utile, di produzione e globale è analogo al caso di edificio con strutture tipiche dell'anno 2010.

Con un edificio meno isolato aumentano i fabbisogno per il riscaldamento e quindi il relativo rendimento ha un peso maggiore nella definizione del rendimento globale d'impianto.

Nell'impianto centralizzato il fattore di perdita maggiore è sempre rappresentato dalle perdite di energia termica della rete di distribuzione e dell'accumulo di acqua calda sanitaria; nell'impianto autonomo il fattore di perdita maggiore è sempre dovuto al consumo degli ausiliari. Come per gli impianti asserviti all'edificio con strutture disperdenti 2010, gli impianti autonomi, a fronte di un minor fabbisogno di energia primaria del generatore, presentano assorbimenti elettrici del circolatore e degli ausiliari notevolmente maggiori. Emerge chiaramente che le soluzioni di impianti autonomo e centralizzato si equivalgono.

Per edifici edificati negli anni Sessanta, dal momento che gli impianti sono eserciti a temperature superiori rispetto a quelli più moderni analizzati del 2010 e anni Duemila, le perdite di energia termica della rete di distribuzione aumentano ed il rendimento del sottosistema di emissione si riduce. È risultato come l'impianto centralizzato sia più efficiente dell'autonomo. Con edificio molto disperdente i fabbisogni di energia primaria necessari al riscaldamento ambiente sono notevolmente superiori rispetto a quelli per la produzione di acqua calda sanitaria. Il rendimento dell'impianto in riscaldamento, che negli impianti centralizzati è maggiore a causa della minor incidenza del consumo degli ausiliari, ha quindi un peso notevole nella deificazione del rendimento globale medio stagionale. Gli impianti autonomi, a fronte di un minor fabbisogno di energia primaria del generatore, presentano assorbimenti elettrici del circolatore e degli ausiliari notevolmente maggiori. I fabbisogni di energia primaria confermano una miglior efficienza da parte

degli impianti centralizzati. È risultato che i consumi di energia primaria sia a favore degli impianti centralizzati nella soluzione con caldaia a condensazione e terminali a bassa temperatura.

Per gli impianti a servizio di edifici caratteristici degli anni Trenta, valgono le stesse considerazioni fatte per quelli a servizio del fabbricato tipico degli anni Sessanta. La soluzione energeticamente più efficiente è quella di impianto centralizzato.

È evidente come l'imposizione di strutture edilizie sempre più isolate comporta una notevole diminuzione dei fabbisogni totali di energia primaria. I fabbisogni di energia primaria si riducono di circa due terzi passando da edificio rappresentativo di costruzioni tipiche degli anni Sessanta ad uno di nuova costruzione caratterizzante l'anno 2010. Si deduce che sia importante prestare attenzione per quanto riguarda le sostituzioni in edifici realizzati prima degli anni Duemila.

Tra le soluzioni impiantistiche analizzate, al variare della tipologia di involucro edilizio non è possibile però individuare una tipologia impiantistica nettamente più efficiente rispetto ad un'altra.

Dalle considerazioni effettuate si evince che tra impianti autonomi e centralizzati non esiste una sostanziale differenza in termini di efficienza energetica. In modo particolare si è messo in luce che negli impianti centralizzati si hanno inevitabilmente delle perdite sulla rete di distribuzione e sull'accumulo, che richiedono un maggiore consumo di combustibile, mentre negli autonomi, soprattutto con ridotti fabbisogni di energia termica dell'involucro, il fattore di maggior perdita è rappresentato dal consumo degli ausiliari.

Mentre le perdite di energia termica nella rete di distribuzione se ben progettata e coibentata e nel sistema d'accumulo degli impianti centralizzati sono solo in piccola parte eludibili, il consumo della pompa di circolazione (ausiliari) nell'autonomo può essere notevolmente ridotto.

Le differenze dei parametri di merito, consumo di energia primaria e rendimento medio globale, tra impianti autonomi e centralizzati sono esigue: è sufficiente una lieve modifica, anche e solo alla logica di funzionamento dell'impianto, per favorire una soluzione rispetto all'altra. I valori dei parametri di merito sono notevolmente influenzati dalle soluzioni tecniche adottate e dai dati relativi alle prestazioni dei generatori di calore. Particolarmente significativa è l'influenza delle perdite percentuali (termiche al mantello e al camino) sul rendimento termico utile e dell'assorbimento energetico degli ausiliari sul valore del rendimento di produzione dell'impianto termico.

Se ne è dedotto quindi che, date le innumerevoli soluzioni impiantistiche disponibili, per stabilire quale sia la soluzione energeticamente più efficiente, sia necessario che il progettista dell'impianto, in modo sinergico con il progettista dell'involucro edilizio, analizzi attentamente la soluzione più adatta.

### 3.7. Considerazioni sulle tipologie e gestione degli impianti di riscaldamento

Grazie ad un'indagine del Politecnico di Milano, all'interno dell'area di ricerca del progetto GAME<sup>55</sup>, analizzando la situazione contemporanea è chiara l'importanza di poter disporre di impianti in grado di soddisfare la flessibilità di carico e la velocità dei tempi di risposta in modo da avere uno scenario impiantistico domestico capace di migliorare l'efficienza.

Si stanno sviluppando dei modelli che sono in grado di modulare la potenza termica erogata parzializzando la quantità di combustibile bruciata, agendo sul *sistema di alimentazione degli ugelli*. Un esempio di questa tecnologia è l'installazione di due piccoli tubi di alimentazione del metano vicini, i quali alimentano alternativamente gli ugelli posti uno accanto all'altro in linea retta. Se in una caldaia convenzionale, variando il diametro degli ugelli da cui esce il combustibile, si riesce a modulare la potenza fino a circa il 30 % del carico termico massimo, con l'adozione di questo dispositivo, chiudendo uno dei due tubi di gas si possono alimentare solo metà degli ugelli e far funzionare la caldaia solo al 15 % della sua potenza massima. I vantaggi di questa configurazione sono evidenti sia in termini di risparmio del combustibile che di flessibilità di gestione della caldaia. Con questo sistema infatti si riesce a far funzionare la caldaia a valori minimi del fattore di carico pur mantenendo un rapporto aria/combustibile vicino a quello ottimale, senza causare eccessive perdite di rendimento.

Un'altra alternativa impiantistica per ottimizzare la gestione dell'impianto è rappresentata dai *sistemi di accumulo*. Oggi la soluzione che si sta maggiormente diffondendo è quella dei sistemi a microaccumulo, in cui a valle dello scambiatore primario si installa un contenitore di capacità intorno ai 4-5 litri, nel quale è presente acqua mantenuta sempre in temperatura da una resistenza elettrica di potenza di circa 30 Watt. Questo sistema permette di ridurre notevolmente i tempi di attesa, fornendo acqua calda sanitaria in pochi secondi, invece che alcuni minuti come sarebbe se si dovesse aspettare il funzionamento a regime della caldaia. Inoltre questo stratagemma evita molti cicli di accensione spegnimento, e comporta il risparmio di acqua e gas in quanto non viene dispersa dall'utenza quella quantità erogata nell'attesa che si arrivi alla temperatura di regime.

Per valutare in maniera completa gli aspetti della modulazione bisogna considerare anche il livello di tecnologia dell'apparecchio in esame. Infatti al variare del fattore di carico, inteso come rapporto percentuale fra la potenza del generatore termico a carico parziale e quella a carico nominale, il rendimento varia anche con la tipologia dell'impianto stesso. A tal scopo si distinguono due diverse tipologie di generatori:

- **Generatore di calore a temperatura dell'acqua in mandata costante:** in esso la temperatura dell'acqua dalla caldaia alla valvola miscelatrice viene mantenuta costante, con conseguenti perdite per dispersione di calore dal mantello e conseguente abbassamento dei rendimenti complessivi d'impianto

---

<sup>55</sup> Progetto GAME, “ Generazione elettrica ed Ambiente nelle Aree Metropolitane – Prospettive di sviluppo della cogenerazione”



- **Generatore di calore a temperatura dell'acqua in mandata "scorrevole"**: in questo caso la temperatura del condotto di mandata è variabile e tramite opportuni accorgimenti è possibile mantenerla globalmente più bassa rispetto all'eventualità precedente, diminuendo le perdite di calore e alzando i rendimenti. Inoltre tale funzionamento permette di risparmiare combustibile in quanto la curva di carico segue di pari passo la curva di richiesta di calore dell'utenza, evitando sprechi.

Un caso particolare degli impianti a temperatura in mandata scorrevole è quello degli apparecchi a condensazione, i quali grazie alle loro specifiche caratteristiche strutturali e progettuali permettono un miglior sfruttamento dell'energia messa a disposizione dal combustibile, mediante il recupero del calore di condensazione del vapore acqueo contenuto nei fumi di scarico.

Le caratteristiche dei diversi tipi di generatori di calore in base al loro sistema di regolazione adottato, a temperatura costante e a temperatura scorrevole sono fondamentali per determinare quale effetto esso abbia sul rendimento di caldaia. Un caso a parte è costituito dalle **caldaie a condensazione** che pur appartenendo alla categoria delle caldaie a temperatura scorrevole presentano delle peculiarità dovute alla condensazione del vapore acqueo contenuto nei fumi.

**Generatore di calore a temperatura costante** sono quelli tradizionalmente usati negli anni passati e che oggi rappresentano i modelli più antiquati, per questo motivo il loro grado di diffusione nel parco nazionale installato va sempre più diminuendo. In questi impianti la valvola miscelatrice ha lo scopo di mantenere il generatore ad una temperatura costante piuttosto alta, per assicurare l'assenza di problemi di condensazione dei fumi che genererebbero sostanze acide pericolose per l'integrità dei materiali. Lo svantaggio che ne deriva sono le notevoli dispersioni di calore dall'involucro e l'incremento di quelle a bruciatore spento. Per questo motivo il rendimento di produzione stagionale può risultare molto basso pur in presenza di un buon rendimento di combustione, nel caso di un basso fattore di carico. Questa soluzione impiantistica risulta energeticamente sconveniente se si pensa alla necessità di dover disporre di una zona dell'impianto (il condotto di mandata fino alla valvola miscelatrice) costantemente ad alta temperatura (75-80 °C), mentre a valle della valvola miscelatrice vi è la necessità di "impoverire" energeticamente tale sorgente miscelandola con acqua più fredda. Laddove la caldaia funziona a carico parziale a causa di una ridotta richiesta di calore dall'utenza, questo fenomeno, unito a cicli di accensioni e spegnimenti, è sempre più rilevante.

Un modo per rendere migliori e più innovativi questo tipo di generatori può essere:

- Dotare i generatori di elevati isolamento termico del mantello e dei componenti per ridurre l'energia termica dispersa attraverso l'involucro.
- Dotare i generatori di serranda posta sull'aspirazione dell'aria comburente per ridurre le perdite a bruciatore spento.
- Dotare i generatori di bruciatore a modulazione sia sul combustibile che sull'aria comburente, per

mantenere il rapporto di combustione costante al variare del carico richiesto e ridurre così le perdite di calore dal camino.

Si definiscono *generatore di calore a temperatura scorrevole* le caldaie caratterizzate da una temperatura dell'acqua nel condotto di mandata variabile a seconda della richiesta di calore dell'utenza e della temperatura esterna. I generatori a temperatura scorrevole, grazie al loro funzionamento che meglio si adatta alle diverse situazioni impiantistiche durante l'intero periodo di esercizio, consentono il raggiungimento di elevati valori del rendimento medio stagionale. La riduzione del fattore di carico nell'arco stagionale ma anche nella giornata è una delle cause che contribuisce, nei generatori tradizionali, alla riduzione del rendimento medio stagionale e alla sua permanenza entro livelli medi e bassi per periodi di tempo prolungati. La temperatura scorrevole rappresenta un'evoluzione tecnologica che si origina dalla progettazione del corpo di scambio e continua nella definizione dell'equipaggiamento in dotazione alla caldaia. L'aumento del rendimento medio stagionale ottenuto con generatori di questo tipo è dovuto principalmente ai seguenti motivi:

- L'adeguamento automatico del carico alle condizioni climatiche stagionali e giornaliere, che si realizza nel funzionamento del generatore a temperatura scorrevole, copia quanto più possibile, la curva dell'energia richiesta dall'impianto.
- La bassa temperatura che ne deriva mediamente, nell'arco di funzionamento del generatore, consente una drastica diminuzione delle perdite verso l'ambiente dall'involucro esterno ed al camino a bruciatore spento.
- Le perdite al camino, per calore sensibile, sono notevolmente ridotte a vantaggio del rendimento di produzione.
- Il rendimento istantaneo risulta anch'esso sensibilmente migliorato grazie alla riduzione di tutte le perdite di calore.

Oltre a quelle comuni ai buoni generatori ad alto rendimento, i generatori a temperatura scorrevole, come già accennato, debbono possedere delle particolari caratteristiche che gli vengono conferite in sede di progetto; sono queste, tecniche proprie di macchine evolute che prevedono sistemi agenti automaticamente sui parametri della combustione per mantenerli ai livelli ottimali anche quando varia la potenza termica perché varia la potenza richiesta dall'impianto. Il tutto finalizzato a mantenere il rendimento costante su valori alti anche al variare della richiesta dell'impianto. Grazie all'introduzione di appositi sensori di regolazione la temperatura di mandata sia in funzione di quella esterna e quindi del carico richiesto dall'utenza. Questa capacità di adattarsi al meglio al carico richiesto permette di risparmiare energia diminuendo le dispersioni. Esistono in genere due diversi gradi di regolazione in base alla richiesta dell'utenza: il primo è la possibilità di imporre manualmente la temperatura massima che deve avere l'acqua in mandata verso l'impianto, tramite un apposito interruttore. Il secondo sistema invece, in grado di scavalcare il primo, si basa su un sensore di

temperatura che misura la temperatura ambiente. Nel caso questa sia particolarmente bassa e quindi la richiesta di calore sia tale da scaldare l'acqua oltre il limite imposto dall'interruttore manuale, tale regolazione permette di superare il comando precedente e raggiungere il livello di energia fornito richiesto. Inoltre la capacità di modulare l'aria comburente tramite un apposito ventilatore che mantenga costante il rapporto di combustione, fa sì che a carichi termici parziali il rendimento sia addirittura leggermente superiore a quello a carico massimo, a causa delle minori temperature in gioco.

Una particolare evoluzione delle caldaie a temperatura scorrevole è rappresentata dalle caldaie a condensazione (*Generatore di calore a condensazione*), le quali aggiungono, ai vantaggi di una regolazione spinta a soddisfare il fabbisogno dell'utenza minimizzando le dispersioni, la possibilità di un ulteriore recupero energetico dal calore di vaporizzazione dell'acqua contenuta nei fumi. Come visto in precedenza, nei sistemi tradizionali di generatori di calore esistono due limiti all'aumento del rendimento medio stagionale:

- La temperatura dei fumi non può scendere sotto determinati valori per garantire il funzionamento corretto del camino.
- La temperatura dell'acqua non può scendere sotto determinati valori indicati dal costruttore, per evitare pericoli di condensazione che causerebbe incrostazioni nel circuito dei fumi e corrosione dei materiali dovuta all'acidità delle condense stesse.

I generatori di calore a condensazione sono progettati per superare questi limiti, grazie alle seguenti particolarità:

- Uno scambiatore fumi-acqua più esteso rispetto al caso tradizionale abbassa la temperatura dei fumi fino a valori di poco superiori a quelli della temperatura dell'acqua di ritorno (si deve sempre garantire però un  $\Delta t$  minimo di circa  $10^\circ \text{C}$  per permettere lo scambio termico).
- Il vapore d'acqua contenuto nei fumi condensa in quantità non trascurabili, seppur in misura variabile con l'eccesso d'aria e la temperatura dell'acqua di ritorno, cedendo all'acqua del generatore il suo calore latente di vaporizzazione.
- I materiali di costruzione sono tali da resistere all'azione del condensato, che ha reazione acida (ciò comporta un maggior costo del generatore).
- L'immissione dell'aria comburente e l'evacuazione dei prodotti della combustione avviene tramite un ventilatore, come in tutte le caldaie a tiraggio forzato, in quanto la temperatura di scarico dei fumi preclude ogni possibilità di tiraggio naturale del camino. In questo caso pertanto il ventilatore è assolutamente necessario per la corretta funzionalità dell'impianto.

Lo sfruttamento del calore di condensazione dipende dalla temperatura dell'acqua di ritorno in caldaia. Quanto più bassa è quest'ultima, tanto più può essere sfruttato il calore latente dei gas di scarico, se si

mantiene costante la temperatura di uscita dei fumi al camino. Per ottenere ciò è necessario che la temperatura di ritorno dell'impianto sia minore o uguale a quella di rugiada dei gas di scarico stessi.

Lo sfruttamento della condensazione dipende anche dall'eccesso d'aria che, minore è maggiore è la possibilità di utilizzare la condensazione dei gas combusti perché si alza la temperatura del punto di rugiada dei gas. Essa è la temperatura di saturazione dell'acqua alla pressione parziale del vapore nel gas che aumenta all'aumentare della pressione della miscela. Di conseguenza diminuendo l'eccesso d'aria aumenta la pressione parziale del vapore acqueo nei fumi di scarico, e quindi si alza anche la temperatura di rugiada in modo che la condensazione inizi ad un livello di temperatura maggiore. Questo implica che la condensazione dei gas di scarico in tali condizioni avviene anche con temperature di ritorno più alte favorendo quindi complessivamente l'impiego della condensazione. Un'altra considerazione in merito riguarda le condizioni in cui avviene la combustione: se l'eccesso d'aria è basso, essa avviene in condizioni molto vicine a quelle stechiometriche. Di conseguenza la massa dei fumi è minore rispetto al caso di combustione con grande eccesso d'aria, e quindi l'acqua che condensa rappresenta una percentuale massica maggiore sul totale dei fumi. Ne segue che con piccoli eccessi d'aria si sfrutta maggiormente la condensazione. In genere i generatori a condensazione sono dotati di bruciatori a premiscelazione, i quali permettono di realizzare una buona combustione con un minor eccesso d'aria. Inoltre gli apparecchi di ultima generazione sono regolati in primis proprio dal ventilatore che immette l'aria comburente, perciò al diminuire della richiesta di calore dell'utenza essi, variando la velocità di rotazione, forniscono meno aria comburente, che quindi si mantiene sempre in proporzioni ottimali, vicino allo stechiometrico, rispetto al combustibile.

Si distinguono due casi di funzionamento di una caldaia a condensazione, a seconda dell'impianto ad essa collegato, in cui comunque è sempre impostato un  $\Delta t$  tra acqua in mandata e al ritorno di circa  $20^\circ\text{C}$ . Nel primo caso, a più alta temperatura, l'acqua entra nella caldaia a circa  $60^\circ\text{C}$  ed esce a circa  $80^\circ\text{C}$ . questa condizione di esercizio si verifica quando la caldaia è annessa ad un impianto di riscaldamento funzionante ad alte temperature, come può essere un sistema a caloriferi. In questo caso l'alta temperatura media di esercizio non permette un adeguato sfruttamento della condensazione, perché le temperature in gioco ne permettono solo un minore sfruttamento. Viceversa se la caldaia è asservita ad un impianto di riscaldamento funzionante a temperature più basse (mandata a circa  $50^\circ\text{C}$  e ritorno a circa  $30^\circ\text{C}$ ), come può capitare in caso di sistema a pavimento, è evidente come la minor temperatura media di esercizio permetta un impiego vantaggioso della tecnica di condensazione, con conseguente risparmio di combustibile, di cui si è già parlato. Quando la richiesta di calore dell'utenza si abbassa la caldaia funziona a carico ridotto, e la regolazione avviene in due modi: introducendo tramite apposite strozzature delle perdite di carico che abbassano la portata d'acqua circolante nel circuito interno, oppure modificando il  $\Delta t$  imposto tra le temperature di ritorno e mandata, fino ad un valore limite di  $10^\circ\text{C}$  il quale deve essere sempre garantito. In conclusione questo tipo di caldaie permette un miglior sfruttamento dell'energia messa a disposizione dal combustibile, grazie al recupero del calore di vaporizzazione dell'acqua contenuta nei fumi. In questo modo si ottengono rendimenti superiori anche al 100%. Questo potrebbe sembrare un paradosso, ma in realtà è

dovuto al fatto che nella definizione di rendimento si considera il potere calorifico inferiore del combustibile, quello che non tiene conto del calore di condensazione dell'acqua contenuto in esso, mentre questa parte di energia viene effettivamente messa a disposizione per scaldare l'acqua che circola nell'impianto. Con questa tecnologia a parità di potenza generata si ottengono risparmi di combustibile fino a quantità prossime al 20%, in quanto si raggiungono rendimenti che vanno dal 103% al valore limite di 107%, per quegli impianti che riescono ad utilizzare tutto il calore di condensazione dell'acqua contenuta nei gas combusti.

Per capire quanto e come il funzionamento in condizioni di modulazione possa influire sulle prestazioni della caldaia in relazione al fabbisogno dell'utenza si cerca di determinare quale sia *l'andamento qualitativo del rendimento per le tipologie di impianti* analizzati in condizioni di carichi termici ridotti. Nella figura 20, si riporta la curva del rendimento al variare del fattore di carico, inteso come il rapporto percentuale fra la potenza del generatore termico a carico parziale e quella a carico nominale, per i diversi sistemi di cui si è parlato.

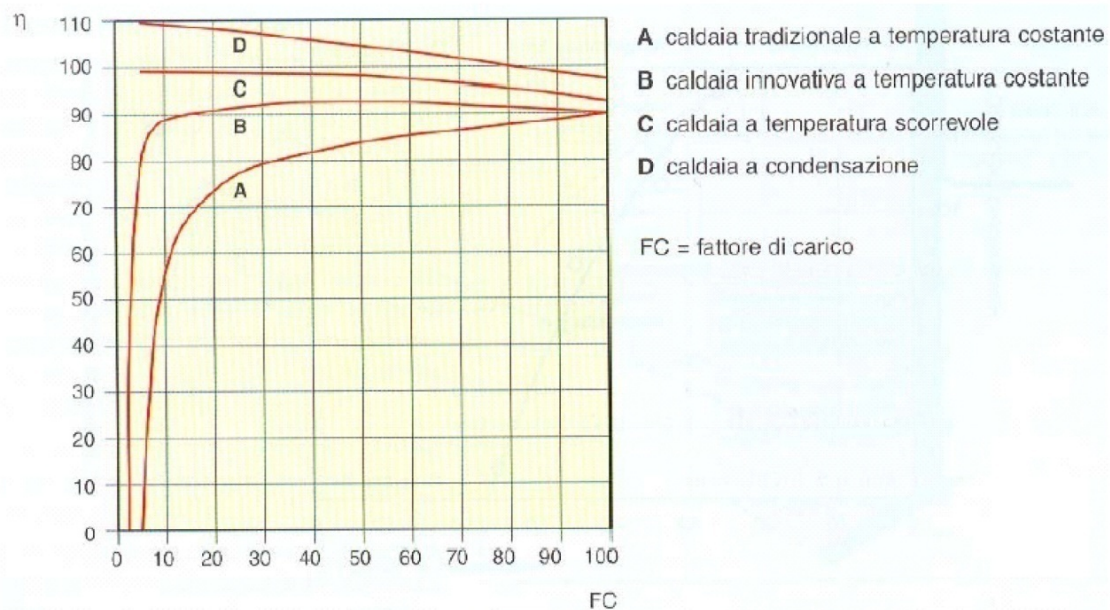


Figura 20. Rendimento di produzione delle caldaie al variare del fattore di carico per diverse tecnologie.

Si osserva nella figura 20, che per i generatori di calore a temperatura dell'acqua di mandata costante (curva A) si hanno forti dispersioni di calore dal mantello e al camino soprattutto per bassi valori del fattore di carico, che penalizzano il rendimento globale di funzionamento dell'impianto. Infatti il calore generato nelle condizioni di massimo carico viene dissipato tramite la miscelazione con l'acqua fredda operata dall'apposita valvola, fino a raggiungere il livello della richiesta dell'utenza.

La situazione può essere migliorata (curva B) mediante gli espedienti citati in precedenza, come dotare il sistema di isolamenti termici, serranda all'ingresso dell'aria comburente e ventilatore in grado di modulare

quest'ultima insieme al combustibile per mantenere un rapporto di combustione prossimo a quello ottimale. Le cose migliorano per i generatori a bassa temperatura (curva C) perché, adeguandosi alle richieste dell'utenza durante il funzionamento, evitano gli sprechi di combustibile presenti nel modello precedente per mantenere una temperatura di mandata costante. Inoltre in questo caso le temperature medie di funzionamento dell'impianto risultano minori della caldaia a temperatura costante, con conseguente contenimento delle perdite per dispersione del calore.

Infine la tipologia di caldaie a condensazione (curva D) presenta addirittura un miglioramento del rendimento per bassi fattori di carico, perché in questo caso le minori temperature in gioco permettono uno sfruttamento più ampio della tecnica della condensazione e un maggior recupero di energia che altrimenti se ne andrebbe con i gas di scarico. Anche qui la bassa temperatura media dell'acqua che circola nell'impianto limita le dissipazioni per irraggiamento a beneficio del rendimento globale.

### ***3.8 Considerazioni generali***

L'illustrazione dello stato dell'arte della tecnologia ad oggi applicabile nel settore del riscaldamento residenziale, la valutazione della situazione relativa al parco nazionale installato e la caratterizzazione dei fattori di emissione delle caldaie residenziali determinati sperimentalmente per differenti apparecchiature e modalità di impiego, che risultano rappresentativi del caso-studio di Piacenza condotto da CESI Ricerca e del progetto sperimentale di SSC ed IPASS hanno fornito un modello rappresentativo del contesto nazionale e un modello per la valutazione del contributo all'inquinamento aero-disperso da parte delle caldaie residenziali e di discriminare l'incidenza sull'inquinamento dei diversi combustibili utilizzati.

Dalla ricerca si deducono fattori in grado di influire sulle emissioni come il funzionamento in regime transitorio e i suoi cicli di accensione/spegnimento che a loro volta dipendono da una serie nutrita di fattori, quali il tipo di generatore, il suo dimensionamento in rapporto al fabbisogno, la sua massa rapportata alla potenza termica, il contenuto d'acqua, la portata d'acqua nel generatore, il tipo e le caratteristiche del termostato di caldaia, ed altri ancora.

Occorre quindi considerare che il dimensionamento degli impianti è opera più complessa di quanto potrebbe apparire.

Anche la progettazione dell'edificio ha una fondamentale influenza sull'impatto ambientale, in rapporto al suo fabbisogno di energia. Dopo la progettazione, occorre ricordare la grande influenza sulle emissioni dello stato di obsolescenza e di manutenzione delle apparecchiature di combustione.

Grande importanza merita inoltre il risanamento del parco esistente (edificio-impianto): attraverso la diagnosi energetica è possibile individuare i punti deboli del sistema, per risanarli, riducendo il consumo di energia primaria e conseguentemente il relativo impatto ambientale.

Poiché appunto il riscaldamento è un settore rilevante ai fini dei consumi di energia primaria ed emissioni, al fine di una migliore conoscenza dei grandi parchi edilizi è stata proposta una metodologia (Statistical

Distribution of Buildings according to primary Energy consumption for heating, E-SDOB)<sup>56</sup> per definire le prestazioni energetiche di grandi parchi edilizi, basata sulla distribuzione statistica dell'area di pavimento degli edifici in funzione del fabbisogno di energia primaria per riscaldamento.

Per i lavori di ristrutturazione importanti (sull'intero edificio, o che riguardano un'area >1000m<sup>2</sup>) la Legge richiede il rispetto dei limiti energetici degli edifici nuovi, mentre i retrofit su singoli componenti edilizi devono rispettare i singoli limiti specifici di prestazione stabiliti per legge (Trasmittanza termica, rendimenti). D'altro canto, la certificazione energetica sarà imposta per legge in tutta Italia, ma qualunque sia il risultato, nessuno potrà essere obbligato a migliorare la classe di appartenenza dell'edificio. Ciò significa che il legislatore non potrà imporre dei retrofit, ma potrà concedere incentivi e valutare<sup>57</sup> quale impatto le varie misure avranno su scala territoriale. Gli incentivi possono agevolare tecnologie costose ma innovative ed efficaci, aumentando la loro quota di mercato e implicitamente contribuendo all'abbattimento dei costi. Il problema è come definire i criteri per finanziare tali retrofit.

In particolare, uno strumento come E-SDOB, può servire a definire la scala di prestazione energetica<sup>58</sup> degli edifici e il potenziale di risparmio energetico degli interventi di retrofit su larga scala limitata, ad esempio, all'involucro edilizio, al miglioramento del rendimento di un impianto o all'uso di tecnologie basate sulle fonti rinnovabili.

In conclusione, la legislazione più recente accompagnata dalla ricerca, ha portato a valutare i sistemi che potrebbero migliorare l'impatto provocato dalle emissioni, spingendo verso innovativi indirizzi tecnici.

---

<sup>56</sup> Fonte AiCAR, aprile 2010.

<sup>57</sup> Ad esempio ci si riferisce alla metodologia appena introdotta, E-SDOB.

<sup>58</sup> Secondo la Norma UNI EN 15217 (2007) la scala di prestazione energetica deve essere costituita da sette classi (da A a G).

#### ***4. il riscaldamento domestico in Italia e le emissioni di ossidi di azoto***

L'inquinamento urbano da riscaldamento è determinato dalla combustione di combustibili fossili.

A seguito di questa considerazione nel presente capitolo viene raccontato uno studio volto a analizzare il comportamento dei combustibili e degli apparecchi di combustione relativamente al riscaldamento domestico nazionale, in relazione alle emissioni prodotte. L'inquinante preso in considerazione è stato l'ossido di azoto. Tale studio è stato finalizzato ad inquadrare il rapporto che intercorre tra combustione, generatori di calore, edifici ed impatto ambientale e si è concentrato a ricostruire l'evoluzione del parco impiantistico residenziale nazionale analizzando il periodo di tempo compreso tra il 1999 e il 2008.

Questo, è stato utile per capire che effetto ha avuto l'ingresso delle nuove tecnologie efficienti disponibili nel mercato nazionale, sulla emissione di ossidi di azoto.

L'analisi è stata condotta a scala nazionale, al Nord, al Centro e al Sud della penisola e, a scala comunale.

##### ***4.1 Inquadramento dell'impiego di gas naturale nel settore del riscaldamento domestico nazionale***

Secondo i dati preconsuntivi diffusi dal Ministero dello sviluppo economico<sup>59</sup>, il consumo interno lordo di gas ha registrato lo scorso anno una sostanziale stabilità o, per meglio dire, una lievissima contrazione dello 0,02% e ciò nonostante un autunno e un inverno (specie ai suoi inizi e cioè nei mesi ricadenti nel 2008) piuttosto rigidi. Per il secondo anno consecutivo, quindi, la vendita di gas è rimasta intorno a 85 MJ(m<sup>3</sup>). Se nel 2007 la stabilità fu dovuta principalmente al manifestarsi di un inverno mite, nel 2008 è soprattutto negli effetti della crisi economica – esplosa poi in tutta evidenza nei primi mesi del 2009 – che vanno cercate le cause della mancata crescita del settore. A riprova di tale interpretazione, nei dati diffusi dal Ministero dello sviluppo economico si osserva infatti come a flettere è stato in particolare il comparto industriale (-9,1%), mentre quello termoelettrico è risultato pressoché stabile e quello dei servizi e usi domestici addirittura in progresso (+6,1%).

Nella tabella 53 sono mostrati i consumi nazionali relativi al riscaldamento domestico. Si nota come questi siano in aumento dopo una lieve flessione nel 2007 a seguito però di un inverno particolarmente rigido come quello registrato nel 2006.

---

<sup>59</sup> BEN, Bilancio Energetico Nazionale, 2008. Ministero Sviluppo Economico.



<b>Vendite di gas naturale in Italia</b>				
<b>(M(m<sup>3</sup>))</b>				
<b>Utenti finali</b>	Anno 2008	Anno 2007	Anno2006	Anno 2005
INDUSTRIA	17.619	19.163	19.900	20.569
AGRICOLTURA E PESCA	167	191	182	207
RESIDENZIALE & TERZIARIO	30.178	28.179	30.166	32.151
USI NON ENERGETICI	849	939	1.155	1.212
CENTRALI TERMOELETTRICHE	33.905	34.293	31.543	30.647
AUTOTRAZIONE	670	591	532	465
CONSUMI E PERDITE E DIFFERENZE STATISTICHE	1.494	1.541	1.005	1.014
<b>TOTALE</b>	84.883	84.897	84.483	86.265

Tabella 53. Vendita di gas naturale in Italia in MJ(m<sup>3</sup>). (Ministero dello sviluppo economico - Dipartimento per l'Energia – DGSAIE, 2008).

<b>Vendite di gas naturale in Italia</b>		
<b>(M(m<sup>3</sup>))</b>		
<b>Utenti finali</b>	Anno 2004	Anno 2003
INDUSTRIA	21.005	20.712
AGRICOLTURA E PESCA	170	162
RESIDENZIALE & TERZIARIO	29.663	28.697
USI NON ENERGETICI	1.205	1.135
CENTRALI TERMOELETTRICHE	27.135	25.746
AUTOTRAZIONE	441	445
CONSUMI E PERDITE E DIFFERENZE STATISTICHE	990	783
<b>TOTALE</b>	80.609	77.680

Tabella 53. Vendita di gas naturale in Italia in MJ(m<sup>3</sup>), (Ministero dello sviluppo economico - Dipartimento per l'Energia – DGSAIE, 2008).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Consumi finali di Gas Naturale nel riscaldamento residenziale M(m<sup>3</sup>)</b>	15.661	14.76	15.394	15.425	17.347	18.037	19.350	20.757	17.183	18.705

Tabella 54. Consumi di gas dal 1999 al 2008 nel riscaldamento residenziale, (AEEG, 2009)

Come accade da molti anni, la produzione nazionale ha continuato a ridursi, scendendo a 9,3 G(m<sup>3</sup>) dai 9,7 del 2007. Le importazioni dall'estero sono cresciute del 3,9%, passando da 73,9 a 76,9 G(m<sup>3</sup>), così pure le esportazioni, passate da 68 a 210 M(m<sup>3</sup>). Parte del gas approvvigionato, circa 1,5 G(m<sup>3</sup>), è rimasta negli stoccaggi. La domanda lorda è stata quindi soddisfatta per l'11% dalla produzione nazionale e per l'89% dalle importazioni nette. Poiché, secondo i dati preconsuntivi ministeriali, un altro miliardo e mezzo di metri cubi è stato utilizzato per i consumi energetici del settore gas e per le perdite di rete, nel 2008 la domanda netta è stata pari a 83,4 G(m<sup>3</sup>), proveniente per il 41% dal settore termoelettrico, per il 36% dal settore civile, per il 21% dall'industria e per il 2% da altri comparti (agricoltura, autotrazione e usi non energetici).

Prendendo ad esempio l'attività di distribuzione nel 2008<sup>60</sup>, si può analizzare come viene suddiviso il gas naturale sul suolo nazionale elencando, per regione, il numero di esercenti, di clienti e di comuni serviti, oltre i volumi erogati e la quota percentuale rispetto al totale nazionale. I dati evidenziano un'elevata variabilità territoriale, ma del tutto stabile nel tempo, in quanto essa riflette la varie diffusione del grado di metanizzazione, le differenze climatiche tra le diverse aree geografiche e la diversa distribuzione sul territorio delle attività produttive di medio-piccola dimensione, tipicamente servite da reti secondarie. Quattro regioni, Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna assorbono più del 10% ciascuna e il 64% circa del gas complessivamente distribuito. Toscana e Lazio possiedono una quota superiore al 5%, 9 regioni evidenziano una quota compresa tra l'1,5% e il 3%, le restanti 4 mostrano quote inferiori all'1%. Manca dall'elenco la Sardegna che non è metanizzata. La tradizionale ripartizione geografica tra Nord, Centro, Sud e Isole mantiene, come negli scorsi anni, la netta predominanza del Nord nel quale viene distribuito il 70,9% del gas totale; seguono il Centro con il 20,0%, il Sud e le Isole con il 9,1%.

---

<sup>60</sup> AEEG, *Struttura Prezzi e Qualità nel settore del gas*, 2009

#### **4.2 Soluzioni impiantistiche e risparmio energetico nel riscaldamento residenziale**

L'efficienza del generatore di calore è uno degli elementi di primaria importanza del sistema edificio-impianto ai fini del contenimento dei consumi di energia primaria e delle emissioni in atmosfera.

Come già abbiamo visto, prima della recente metanizzazione, le caldaie erano alimentate soprattutto a gasolio. Oggi le più diffuse sono a gas, più sicure, pratiche ed economiche. Ci sono vari tipi di caldaia a seconda della tecnologia di gestione del calore. Tra i generatori di calore eco-compatibili particolare rilievo assumono le caldaie a condensazione e le caldaie a temperatura scorrevole.

Nella *caldaia tradizionale a temperatura costante* una valvola miscelatrice inserita nel circuito idraulico mantiene una temperatura costante piuttosto elevata all'interno della caldaia, per assicurare che non ci siano problemi di condensazione. La temperatura elevata è causa di notevoli dispersioni di calore e incremento delle perdite a bruciatore spento. All'aumentare del numero di volte che la caldaia viene accesa e spenta, aumentano le perdite al camino per tiraggio e le perdite di prelavaggio. Il ciclo di accensione/spegnimento può essere molto elevato; in questo caso il rendimento stagionale può risultare quindi molto basso pur in presenza di buon rendimento di combustione. Per migliorare il rendimento è possibile introdurre un bruciatore a più stadi, oppure modulante.

Le caldaie *a temperatura scorrevole*, tecnologicamente evolute, adeguano il loro funzionamento in relazione a quella che è la reale richiesta del carico termico dell'impianto. Per generatore a "temperatura scorrevole" si intende l'attitudine a variare la temperatura dell'acqua di caldaia compatibilmente con le esigenze dell'utenza termica e quindi rapportata alle condizioni climatiche. La funzionalità è gestita da un sistema intelligente di termoregolazione. Attraverso questi particolari requisiti di progetto si possono soddisfare le necessarie esigenze di comfort ambientale, contenendo in misura consistente i consumi e ottenendo inoltre una semplicità di configurazione idraulica dell'impianto di riscaldamento. L'adeguamento della temperatura di caldaia alle continue fluttuazioni della temperatura esterna permette di ottenere durante l'intera stagione di riscaldamento una drastica riduzione delle perdite passive del generatore: perdite per calore sensibile attraverso il camino a bruciatore acceso e spento, perdite attraverso il mantello. Grazie infatti agli accorgimenti tecnologici introdotti è possibile ottenere delle curve del rendimento termico utile in funzione del carico, crescenti al diminuire dello stesso, garantendo pertanto ottimi valori del "rendimento globale medio stagionale" (parametro di riferimento del D.P.R. n 412/93). Si ottiene un livello di formazione degli ossidi di azoto contenuta.

Come è noto infatti la formazione degli ossidi di azoto contenuti nei prodotti della combustione è direttamente legata a fattori termici, quali l'alta temperatura nella zona di fiamma. La configurazione geometrica del triplo giro di fumi permette inoltre di diminuire il tempo di permanenza dei prodotti della combustione, favorendo la minor formazione di NOx.

Come si è detto le caldaie tradizionali utilizzano solo una parte dell'energia del combustibile, il cosiddetto potere calorifico inferiore; il resto viene disperso dal camino sotto forma di vapore acqueo.

La *tecnologia a condensazione*, al contrario, restituisce l'energia inutilizzata: raffredda il vapore acqueo trasformandolo in acqua e, nel corso di questo processo denominato "condensazione", recupera calore: il calore di condensazione. Rispetto alle caldaie tradizionali, le caldaie a condensazione utilizzano una percentuale maggiore dell'energia fornita dal combustibile, il potere calorifico superiore. Per confrontare il rendimento degli impianti a condensazione con quelli tradizionali si calcola l'energia contenuta nel combustibile con il potere calorifero inferiore. Per questo la caldaia a condensazione raggiunge un rendimento globale normalizzato maggiore del 100%. La quota di sfruttamento del calore di condensazione dipende dalla temperatura di ritorno del sistema di riscaldamento e dalla temperatura dei gas di scarico della caldaia. Più basse sono entrambe, tanto più alto è lo sfruttamento del calore latente e quindi anche il rendimento della caldaia a condensazione. Quindi il miglior sfruttamento delle caldaie a condensazione si ha con terminali che funzionano bene a bassa temperatura, come ad esempio i pannelli radianti. Altri vantaggi di una caldaia a condensazione sono la riduzione delle emissioni inquinanti rispetto a una caldaia tradizionale e il risparmio dovuto al minore consumo di gas.

Oltre alla tipologia di generatore è necessario soffermare l'attenzione sui sistemi di regolazione adottabili dagli impianti in grado di influire positivamente sul consumo di energia primaria e quindi poi sull'impatto ambientale.

Tali sistemi fungono da regolatori della temperatura di ambiente indipendenti.

La regolazione può essere effettuata in modi diversi, in relazione al tipo di impianto, al grado di precisione e di automatismo che si vuole raggiungere.

Generalmente gli impianti centralizzati vengono dotati di una centralina di controllo (programmatore) con la quale vengono impostati i tempi di accensione dell'impianto e viene regolata automaticamente la temperatura di mandata dell'acqua ai radiatori sulla base della temperatura esterna, rilevata con una sonda di temperatura. La centralina agisce su una valvola che miscela l'acqua calda di mandata con quella fredda di ritorno.

In questo modo, al variare della temperatura esterna, si riesce con una certa approssimazione, a mantenere costante la temperatura dell'edificio (per esempio a 20°C). Nel caso di edifici nuovi o di ristrutturazione di impianti termici, è prescritta l'installazione di centraline che diano la possibilità di regolare la temperatura ambiente, almeno su due livelli sigillabili nell'arco delle 24 ore (per esempio 20°C di giorno e 16°C di notte). La regolazione degli impianti centralizzati, intervenendo esclusivamente sulla temperatura dell'acqua dei radiatori, non tiene conto che, se l'impianto non è ben progettato ed equilibrato, nelle diverse zone dell'edificio spesso si stabiliscono temperature diverse come succede tra il primo piano e l'ultimo, tra le facciate esposte a sud e quelle a nord, tra gli appartamenti d'angolo e quelli interni, e così via. Spesso, per assicurare un buon comfort agli alloggi più freddi si aumenta la temperatura dell'acqua di mandata, con il risultato di surriscaldare quelli più caldi e di sprecare energia.

Negli impianti individuali a servizio di una sola unità immobiliare è frequente e consigliabile l'installazione di un programmatore che accende e spegne automaticamente la caldaia in base alla temperatura ambiente

scelta (termostato), in base alla temperatura esterna e ad orari prefissati (cronotermostato). Con questo sistema di regolazione, si realizza, con migliore approssimazione, l'obiettivo di mantenere la temperatura costante al variare delle condizioni climatiche esterne. Inoltre, è possibile scegliere orari di accensione più adatti alle esigenze di chi occupa l'alloggio, sempre nel rispetto degli orari e delle temperature fissate dalla legge. Anche negli impianti individuali, negli edifici nuovi o nel caso di ristrutturazioni, è obbligatorio l'uso di un cronotermostato regolabile su due livelli di temperatura.

Servendosi di questi sistemi, sia negli impianti centralizzati che in quelli individuali è possibile fare grandi passi nella direzione di consumare l'energia solo dove e quando serve. Per ogni radiatore, al posto della valvola manuale, è quindi possibile installare una valvola termostatica per regolare automaticamente l'afflusso di acqua calda in base alla temperatura scelta ed impostata su una apposita manopola graduata. La temperatura può essere regolata in ogni singolo ambiente per sfruttare anche gli apporti gratuiti di energia, cioè quelli dovuti, ad esempio, alla presenza di molte persone, ai raggi del sole attraverso le finestre, agli elettrodomestici. La valvola si chiude mano a mano che la temperatura ambiente, misurata da un sensore, si avvicina a quella desiderata, consentendo di dirottare ulteriore acqua calda verso gli altri radiatori, ancora aperti. In questo modo si può consumare meno energia nelle giornate più serene, quando il sole è sufficiente per riscaldare alcune stanze, oppure, ad esempio, impostare una temperatura più bassa nelle stanze da letto e una più alta in bagno o anche lasciare i radiatori aperti al minimo quando si esce da casa. Le valvole termostatiche, installate negli impianti centralizzati hanno anche una buona influenza sull'equilibrio termico delle diverse zone dell'edificio.

Quando i piani più caldi arrivano a 20°C le valvole chiudono i radiatori consentendo un maggiore afflusso di acqua calda ai piani freddi. Per l'installazione delle valvole termostatiche è consigliabile rivolgersi ad un professionista o a una ditta qualificata. Il risparmio di energia indotto dall'uso delle valvole termostatiche può arrivare fino al 20%. Proprio per questa ragione, è spesso obbligatoria l'installazione negli edifici di nuova costruzione e nelle ristrutturazioni.

Fino agli inizi degli anni 90 era consuetudine avere nel condominio un unico impianto termico per il riscaldamento centralizzato che veniva gestito dall'amministratore dello stabile e il cui costo era suddiviso, in base ai millesimi di proprietà, fra i condomini. Si è poi diffuso un forte desiderio di una riduzione delle spese correlato ad una più equa attribuzione dei costi di gestione. In seguito così, il termoautonomo ha preso il sopravvento attribuendosi il grande merito di migliorare le abitudini di consumo più che i costi veri e propri.

La recente normativa nazionale (D.P.R. 59/2009, in vigore dal 25 giugno), pur consentendo in via eccezionale "per motivi tecnici" la trasformazione da riscaldamento centralizzato a impianti autonomi, di fatto la scoraggia nei condomini con più di 4 appartamenti, come pure in quelli con un numero minore di alloggi nel caso in cui la potenza nominale del generatore sia maggiore o uguale a 100 kW. Senza dimenticare che la Legge 296 del 2006 supporta la sostituzioni di autonomi in centralizzati ma non dei centralizzati in autonomi.

Alla luce di tali considerazioni, la novità degli ultimi anni è quella di dotare il riscaldamento centralizzato di una sorta di autonomia nell'utilizzazione del calore appartamento per appartamento. Munendo ogni radiatore di una valvola (termovalvola) si riesce a soddisfare la doppia funzione di regolazione della temperatura stanza per stanza e di misura automatica e continuativa della quantità di calore che la caldaia centralizzata fornisce a ciascun radiatore.

Il risultato sembra essere quello di ottenere riscaldamento con maggiore autonomia e maggior risparmio.

A spingere verso questo nuovo tipo di riscaldamento centralizzato è soprattutto il Nord, in particolare il Trentino Alto Adige, il Friuli Venezia Giulia e la Lombardia, mentre agli ultimi posti figurano Sicilia e Campania. Nell'Italia settentrionale, infatti, solo il 15% delle case nuove ha un riscaldamento centralizzato di vecchia concezione, mentre al Centro Sud si arriva fino al 35%.<sup>61</sup>

Il settore residenziale assorbe annualmente più del 30% dei consumi energetici totali tra cui i consumi per usi finali sono dovuti per la maggior parte alla climatizzazione invernale.

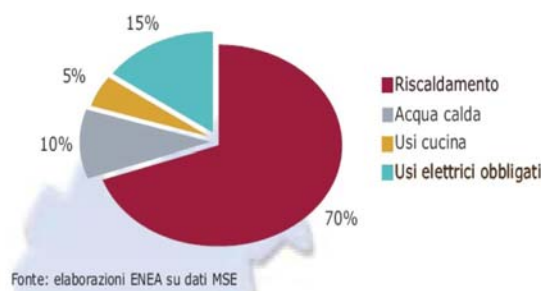


Figura 19. Settore residenziale. Consumi di energia per usi finali nel 2005, ( ENEA 2007).

Come si vede dalla figura 19, il 70% circa del consumo è assorbito dal riscaldamento.

Tali consumi possono essere significativamente ridotti, utilizzando i sistemi integrativi appena discussi e apparecchiature a maggiore efficienza. Ovviamente, visto che buona parte delle dispersioni del calore avviene attraverso le strutture, è evidente che solo l'ottimizzazione del sistema involucro-impianto, permette di perseguire performance apprezzabili nella direzione di un'efficace politica energetica.

L'importanza di una caldaia ad alta efficienza che è una caldaia in cui la quasi totalità (oltre il 90%) dell'energia contenuta nel combustibile viene trasferita al fluido termovettore; l'efficienza viene quantificata con il rendimento di combustione, ovvero la percentuale di energia derivante dalla combustione trasferita al

<sup>61</sup> CASA&CLIMA, ottobre 2009.

fluido termovettore (quindi in una caldaia con rendimento dell'85%, il 15% di energia contenuta nel combustibile va perso).

In altri termini, maggiore è il rendimento della caldaia, maggiore è il risparmio di combustibile, il che si traduce ovviamente anche in un risparmio economico e un risparmio di emissioni.

Ricordiamo infatti che le caldaie tradizionali hanno un rendimento medio che si aggira intorno all'85-86%: nei periodi meno freddi, quando non viene erogata tutta la potenza disponibile, l'efficienza decade in maniera significativa perché la combustione non avviene nelle condizioni ottimali e il consumo di combustibile aumenta in modo proporzionale.

A tal proposito come abbiamo visto precedentemente, la Finanziaria 2007 ha predisposto un beneficio fiscale, ai sensi del comma 347, al fine di indurre gli utenti a sostituire gli impianti termici esistenti tradizionali con caldaie di tipo a condensazione e contestuale messa a punto del sistema di distribuzione del calore, con regolazione di tipo modulante che agisca sulla portata del fluido termovettore del singolo corpo scaldante ed eventuali sistemi di contabilizzazione del calore.

Al fine di vedere cosa succede in Italia inerente a quanto appena discusso, nel presente elaborato di tesi è stata condotta un'analisi riguardo l'evoluzione del parco nazionale impiantistico relativamente al settore del riscaldamento domestico in relazione alla produzione di emissioni inquinanti. Tale lavoro di ricerca si è concentrato sugli ossidi di azoto.

#### ***4.2.1. Evoluzione del mercato delle caldaie sul territorio nazionale***

Scendendo nel particolare del caso italiano, è stata ricostruita l'evoluzione del parco nazionale impiantistico relativamente al settore del riscaldamento residenziale specificandone le tipologie cioè quelle tradizionali, a condensazione e "altre High-Tech"<sup>62</sup> e, individuando la loro potenza termica, < 35kW oppure >35kW<sup>63</sup>.

Tale obiettivo è stato raggiunto servendosi dei dati forniti da ATIG<sup>64</sup> che ha registrato, sul territorio italiano, nel 2005, 14.000.000 di impianti autonomi residenziali e 1.050.000 impianti centralizzati di cui 350.000 unità per il settore residenziale e 700.000 per il non-residenziale.

Al fine di confermare la fonte ATIG, è stato preso in considerazione il dato fornito da Istat<sup>65</sup> che ha rilevato

---

<sup>62</sup> La definizione "altre High-Tech" coniata da Assotermica si riferisce agli apparecchi a temperatura scorrevole e a bassa temperatura.

<sup>63</sup> In mancanza di dati precisi, ai fini dell'ottenimento dei calcoli, è stato considerato che le caldaie <35kW corrispondessero agli impianti autonomi mentre le caldaie >35kW corrispondessero impianti centralizzati.

<sup>64</sup> ATIG, Italian Technical Gas Association. *Natural gas utilization in Italy: general market situation of commercial heating boilers*, 2004. Milano.

<sup>65</sup> Istat, Censimento 2001.

sul territorio nazionale 4.000.000 di abitazioni alimentate da impianto centralizzato. Per risalire al numero di impianti centralizzati, è stato diviso tale dato per 12<sup>66</sup> cioè il numero medio di abitazioni servite da ogni caldaia centralizzata; è stato ottenuto un totale di 350.000 impianti centralizzati. Tale valore differisce di sessantamila unità rispetto al numero di impianti centralizzati basandosi sulla fonte fornita da ATIG. In questo modo si può considerare confermata la veridicità del dato ATIG per quanto riguarda il numero di impianti presenti sul territorio, centralizzati ed autonomi.

Per ricostruire il parco impianti per il resto degli anni in analisi, ci si è rivolti ai quadri di vendita degli impianti di riscaldamento di Assotermica relativi agli anni compresi tra il 2001 e il 2008; tali dati hanno rivelato le vendite annue di impianti termici specificando le tipologie, tradizionali, a condensazione e “altre High-Tech” , specificando i tipi di bruciatore atmosferico o ad aria soffiata e la potenza termica, < 35kW e >35 kW<sup>67</sup>.

Usando come dati di partenza quelli forniti da ATIG è stato possibile ricostruire il parco impianti nazionale integrando le vendite annue di Assotermica.

L’obiettivo finale della ricostruzione del parco installato relativo al riscaldamento residenziale è stato quello di vedere la relazione che intercorre tra la sua evoluzione e la produzione di emissioni inquinanti.

Studiare tale relazione è servito per capire l’effetto dell’ingresso sul mercato di nuove tipologie impiantistiche efficienti sull’aspetto emissivo.

Nel contesto di questo lavoro di ricerca l’attenzione è stata posta specificatamente agli ossidi di azoto.

È doveroso specificare che ATIG ha fornito i dati numerici riguardo gli impianti autonomi e centralizzati mentre le vendite di Assotermica si riferivano agli impianti specificando la loro potenza termica < 35kW e >35kW. In mancanza di dati più specifici, per poter eseguire i calcoli necessari ad ottenere il risultato desiderato, è stato considerato che le caldaie <35kW corrispondessero agli impianti autonomi mentre le caldaie >35kW corrispondessero impianti centralizzati.

Le vendite di Assotermica inoltre, si riferiscono al settore civile in generale senza specificare quante siano attribuibili al settore residenziale e quante al terziario. Per questa ragione al fine dell’ottenimento dei calcoli, è stato considerato che gli impianti individuali siano interamente attribuibili alle abitazioni mentre per quanto riguarda i centralizzati è stato attribuito al settore residenziale il 33% del totale delle vendite annue. Tale percentuale è stata desunta dai dati ATIG che indicavano che 350.000 su 1.050.000 impianti centralizzati era destinato al residenziale.

Un’altra considerazione importante da fare è che i dati Assotermica non si riferiscono al totale delle vendite

---

<sup>66</sup> numero stimato da Cresme riportato nel *Libro Bianco* del 2000 che ha considerato una media di 12 abitazioni servite per ogni caldaia centralizzata

<sup>67</sup> In mancanza di dati più precisi, ai fini dell’ottenimento dei calcoli , è stato considerato che le caldaie <35kW corrispondessero agli impianti autonomi mentre le caldaie >35kW corrispondessero impianti centralizzati.



annue sul territorio nazionale ma al 90%. È stato quindi aggiunto il 10% delle vendite totali al totale vendite di ogni anno.

Un altro aspetto fondamentale di questa ricerca è stato quello di individuare quanti impianti all'anno vengono sostituiti e quanti invece vengono installati in nuove abitazioni; ragionamento necessario per capire il livello di rinnovamento del parco caldaie relativamente al settore residenziale. Al fine di inquadrare tale situazione è stata attribuita una durata di vita media delle caldaie di vent'anni<sup>68</sup> e un tasso di sostituzione del 5 per cento.

Analizzando nel dettaglio il percorso intrapreso, il primo passo eseguito è stato quello di ricavare annualmente il numero di impianti da sostituire e quello destinato a nuove installazioni.

Partendo dal 2005<sup>69</sup>, considerato l'anno di partenza, è stato calcolato il cinque per cento del totale di impianti centralizzati e autonomi.

Sottraendo poi al totale caldaie vendute nel 2005<sup>70</sup> il totale impianti destinati alle sostituzioni, è stato possibile ottenere il numero di impianti da dedicare alle nuove installazioni in nuove abitazioni.

Per quanto riguarda invece il totale impianti nel 2004 è stato sottratto al totale impianti del 2005<sup>71</sup> il numero di caldaie trovato per nuove installazioni. Tale operazione è stata condotta per entrambi gli impianti, autonomi e centralizzati.

Al fine di ottenere le sostituzioni e nuove installazioni per il 2004 è stato condotto il medesimo ragionamento sopra spiegato cioè calcolando il 5% del totale di entrambi gli impianti centralizzati e autonomi del 2004. Per calcolare le nuove installazioni invece, è stato sottratto al totale vendite del 2004 il numero di impianti che doveva essere dedicato alle sostituzioni.

Tali passaggi sono stati eseguiti per ogni anno.

In questo modo è stato possibile risalire al totale impianti autonomi e centralizzato e al numero di sostituzioni e nuove installazioni da effettuare per ogni anno del decennio considerato dalla presente ricerca (tabella 55, 56, 57).

---

<sup>68</sup> Dato da Normativa UNI EN 15459, Allegato A.

<sup>69</sup> Fonte ATIG.

<sup>70</sup> Fonte Assotermica.

<sup>71</sup> Fonte ATIG.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IMPIANTI AUTONOMI	12.221.826	12.491.562	12.751.817	13.003.849	13.323.864	13.667.183	14.000.000	14.332.817	14.716.972	14.969.840
IMPIANTI CENTRALIZZATI	268.441	280.348	292.043	305.614	320.637	336.213	350.000	363.787	385.597	387.979
TOTALE IMPIANTI	12.490.267	12.771.911	13.043.860	13.309.463	13.644.501	14.003.396	14.350.000	14.696.604	15.102.568	15.357.819

Tabella 55. Totale impianti di riscaldamento relativi al settore residenziale dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Dai calcoli effettuati risulta che sulla media del totale caldaie vendute all'anno circa il 70% sia dedicato alle sostituzioni mentre il 30% per nuove installazioni.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IMPIANTI SOSTITUITI <35kW	611091,282 1	624578,121	637590,840 5	650192,459 5	666193,202 3	683359,144 5	700000	716640,85 56	735848,592 2	748492,005 2
IMPIANTI SOSTITUITI >35kW	13422,0640 5	14017,4074 2	14602,1582 2	15280,6790 3	16031,8722	16810,6376 6	17500	18189,362 34	19279,8327 4	19398,9252 4
TOT. IMPIANTI SOSTITUITI	624513,346 1	638595,528 4	652192,998 8	665473,138 5	682225,074 5	700169,782 1	717500	734830,21 79	755128,425	767890,930 5

Tabella 56. Totale impianti autonomi e centralizzati per il riscaldamento relativo al settore residenziale sostituiti dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IMPIANTI NUOVE INSTALLAZIONI <35kW	256.578	269.737	260.254	252.032	320.015	343.319	332.817	384.155	252.868	220.232
IMPIANTI NUOVE INSTALLAZIONI >35kW	14.082	11.907	11.695	13.570	15.024	15.575	13.787	21.809	2.382	3318,45
TOT. NUOVE INSTALLAZIONI	270.659	281.644	271.949	265.603	335.039	358.894	346.604	405.964	255.250	223550,73

Tabella 57. Totale impianti autonomi e centralizzati per il riscaldamento relativo al settore residenziale per nuove installazioni dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Il numero di impianti che ogni anno vengono dedicati alle nuove installazioni si può considerare confermato confrontandolo con i dati pubblicati da Cresme<sup>72</sup> riguardo le nuove abitazioni costruite all'anno (Figura 20).

<sup>72</sup> Cresme, *Annuario 2009*

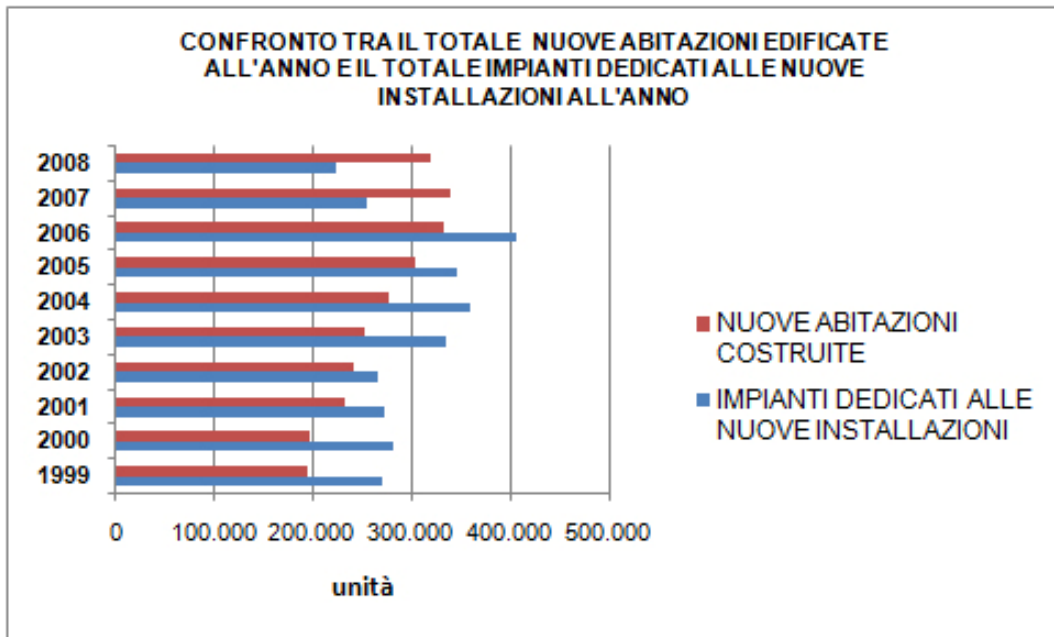


Figura 20. Confronto tra le nuove abitazioni costruite all'anno e gli impianti dedicati alle nuove installazioni ogni anno ( Atig e Assotermica, 2009).

Gli impianti dedicati alle sostituzioni sono andati a sostituire ogni anno parte del parco installato delle caldaie tradizionali. Tali impianti, per la maggior parte installati più di venti anni fa, sono considerati scarsamente efficienti, causa di dispersioni, “dotati” di cattivi rendimenti ed inquinanti. Sostituendo tali impianti con caldaie tradizionali nuove e più efficiente, con impianti a condensazione e con altre caldaie “high-tech”, è stato possibile ridurre gli apparecchi negativi per l’ambiente e sul consumo energetico e, aumentare invece quelli in grado di migliorare il parco installato e spingerlo verso una prospettiva di maggiore efficienza.

È stato considerato che fino agli inizi degli anni '00, il parco installato relativo al riscaldamento domestico fosse composto intermente da impianti tradizionali. Di conseguenza è stato stabilito che l’anno di ingresso delle caldaie a condensazione ed “altre high-tech” sul mercato nazionale sia il 2000<sup>73</sup>.

Le valutazioni dunque sono cominciate a partire dall’anno 1999 dove è stata rilevata la presenza di sole caldaie tradizionali. Dal 2000 invece tra le vendite sono comparsi gli apparecchi ad alta efficienza; il parco installato da questo anno in poi sarà composto da tipologie tradizionali, a condensazione e “altre High-Tech”<sup>74</sup>.

<sup>73</sup> Fonte Assotermica

<sup>74</sup> Fonte Assotermica

Ogni anno al totale caldaie tradizionali verranno sottratte il numero di impianti da sostituire (pari al 5% del totale impianti) e aggiunte invece le vendite di nuovi impianti tradizionali, a condensazione e altri “High-Tech”.

Le caldaie a condensazione e “altre High-Tech” sono calcolate sommando le vendite degli stessi impianti al totale dell’anno precedente.

Il risultato del percorso intrapreso è stato quello di identificare il numero totale di caldaie differenziate per tipologia e per portata termica presenti sul territorio nazionale anno per anno dal 1999 al 2008.

Nella tabella 58 vengono mostrati i calcoli effettuati per sviluppare i passaggi appena descritti.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IMPIANTI AUTONOMI	12.221.826	12.491.562	12.751.817	13.003.849	13.323.864	13.667.183	14.000.000	14.332.817	14.716.972	14.969.840
IMPIANTI CENTRALIZZATI	268.441	280.348	292.043	305.614	320.637	336.213	350.000	363.787	385.597	387.979
TOTALE IMPIANTI	12.490.267	12.771.911	13.043.860	13.309.463	13.644.501	14.003.396	14.350.000	14.696.604	15.102.568	15.357.819
VENDITE TRADIZIONALI	655.173	861.482	865506,4188	872.827	941365,9738	989365,5321	989532,139	1.015.383	782.655	693950,9509
<35kW	867.669	837.366	840975,4336	845774,3762	912819,4066	955264,415	960793,286	979.770	766.787	679054,649
>35kW	27.504	24.116	24530,9852	27.052	28546,56713	30101,11708	28736,85303	35.613	15.867	14896,30184
VENDITE CONDENSAZIONE	0	16.650	21.325	24.980	36.645	37.665	48.767	102.990	210.142	285.984
<35kW	0	16.150	20.618	24.123	35.341	36.317	47.009	99.226	204.905	278.493
>35kW	0	500	707	857	1.303	1.347	1.758	3.764	5.237	7.491
VENDITE "ALTRE HIGH-TECH"	0	42.107	37.311	33.269	39.253	32.034	25.805	22.421	17.581	11.507
<35kW	0	40.799	36.252	32.328	38.047	31.096	25.015	21.799	17.025	11.177
>35kW	0	1308,141728	1059,682603	941,7839652	1205,687864	937,3365841	790,2216772	621,6573066	556,8567045	330,1928096
TOT. VENDITE <35kW	867.669	894.315	897.945	902.225	986.208	1.026.678	1.032.817	1.100.796	988.717	968.724
TOT. VENDITE >35kW	27.504	25.924	26.297	28.851	31.056	32.386	31.287	39.999	21.662	22.717
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IMPIANTI SOSTITUITI <35kW	611091,2821	624578,121	637590,8405	650192,4595	666193,2023	683359,1445	700000	716640,8556	735848,5922	748492,0052
IMPIANTI SOSTITUITI >35kW	13422,06405	14017,40742	14602,15822	15280,67903	16031,8722	16810,65766	17500	18189,36234	19279,83274	19398,92524
TOT. IMPIANTI SOSTITUITI	624513,3461	638595,5284	652192,9988	665473,1385	682225,0745	700169,7821	717500	734830,2179	755128,425	767890,9305
IMPIANTI NUOVE INSTALLAZIONI <35kW	256.578	269.737	260.254	252.032	320.015	343.319	332.817	384.155	252.868	220.232
IMPIANTI NUOVE INSTALLAZIONI >35kW	14.082	11.907	11.695	13.570	15.024	15.575	13.787	21.809	2.382	3318,45
TOT. NUOVE INSTALLAZIONI	270.659	281.644	271.949	265.603	335.039	358.894	346.604	405.964	255.250	223550,73
TOT. CALDAIE TRADIZIONALI										
<35kW	12.478.403	12.691.191	12.894.576	13.090.158	13.336.784	13.612.689	13.873.483	14.136.612	14.167.551	14.098.113
>35kW	282.523	292621,88	302550,71	314322	326.637	340.127	351.366	368.790	365.377	360.875
TOTALE CALDAIE CONDENSAZIONE	0	16.150	36.768	60.891	96.232	132.550	179.558	278.784	483.689	762.182
<35kW	0	500	1.206	2.063	3.367	4.714	6.472	10.237	15.474	22.965
>35kW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE CALDAIE "ALTRE HIGH TECH"	0	40.799	77.050	109.378	147.425	178.522	203.537	225.336	242.361	253.537
<35kW	0	1308,14173	2367,82433	3309,60830	4515,29616	5452,63274	6242,85442	6864,51173	7421,36843	7751,56124
>35kW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ricostruzione del parco impiantistico installato relativamente al riscaldamento domestico dal 1999 al 2008, (Atig e

Assotermica, 2009).

Tabella 58.

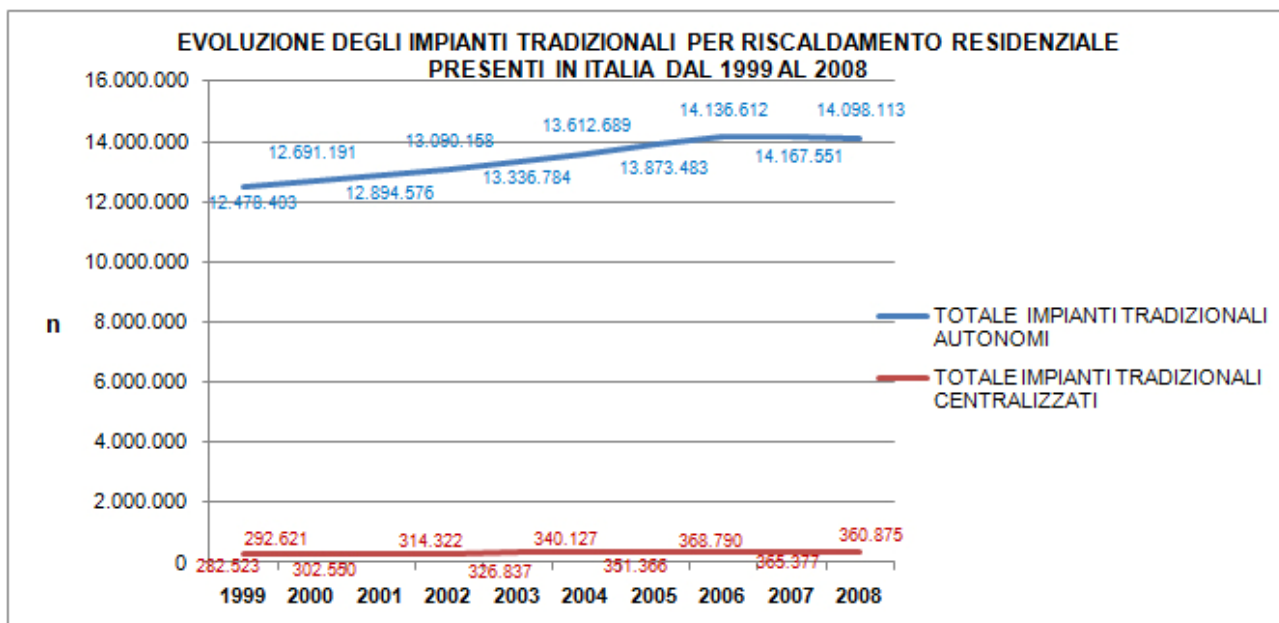


Figura 21. Evoluzione degli impianti tradizionali dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Nella figura 21 viene mostrata l'evoluzione delle caldaie tradizionale. Si nota che oltre a detenere quasi completamente il totale di impianti installati sul parco nazionale, vi sia una costante crescita fino al 2006; tra il 2007 e il 2008 appare un rallentamento concomitante all'incremento delle vendite della tipologia a condensazione. Si legge anche che vi sia una crescita per i sistemi autonomi e un andamento costante per i centralizzati.

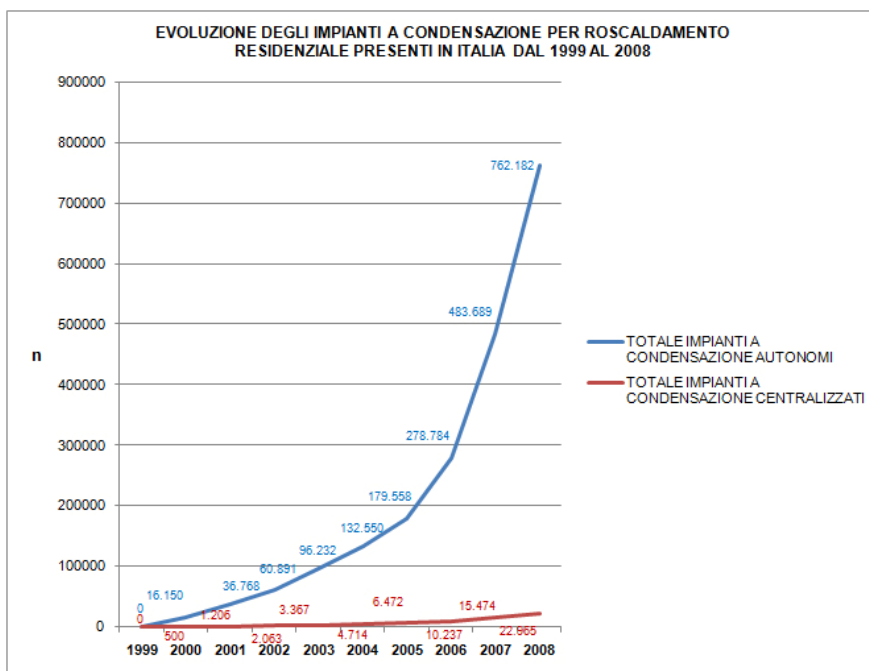


Figura 22. Evoluzione degli impianti a condensazione dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Nella figura 22 infatti si conferma quanto appena detto. Tra il 2006 e il 2008 si è registrato un notevole aumento delle installazioni di caldaie a condensazioni. Anche in questo caso risultano più numerosi i sistemi autonomi rispetto ai centralizzati nonostante vi sia un lieve incremento tra il 2007 e 2008.

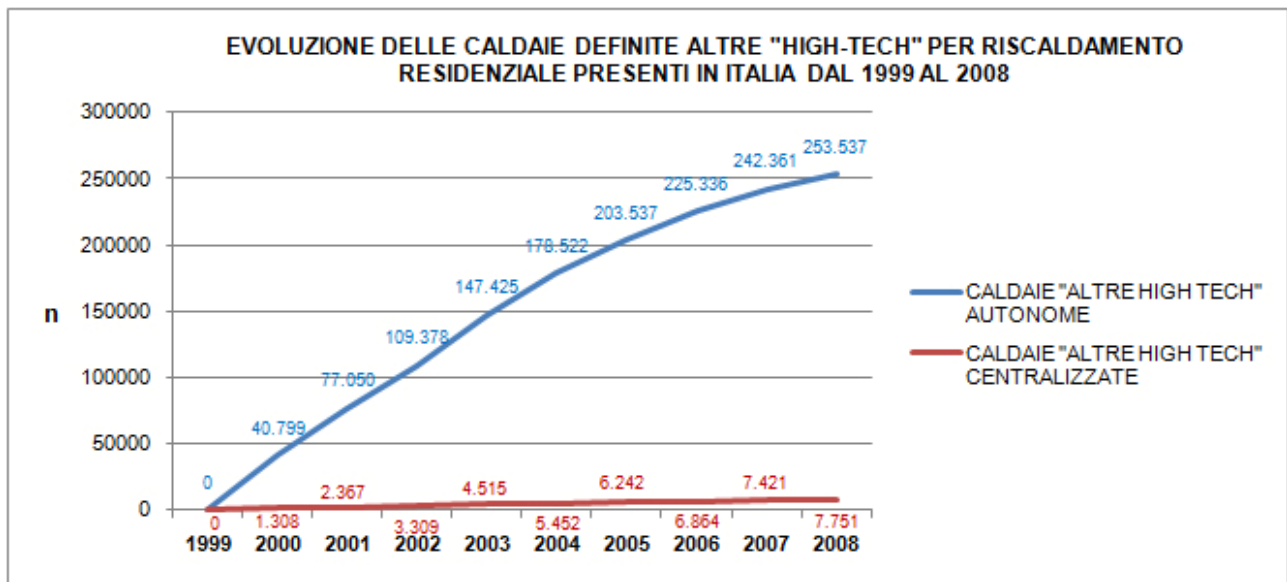


Figura 23. Evoluzione degli impianti “Altre High-Tech” dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Per quanto riguarda la tipologia definita “altre High-Tech” da Assotermica si registra una maggior presenza nel settore del riscaldamento domestico per i primi anni del '00 rispetto alla tipologia a condensazione e una netta minoranza per quanto gli anni tra il 2006 e 2008.

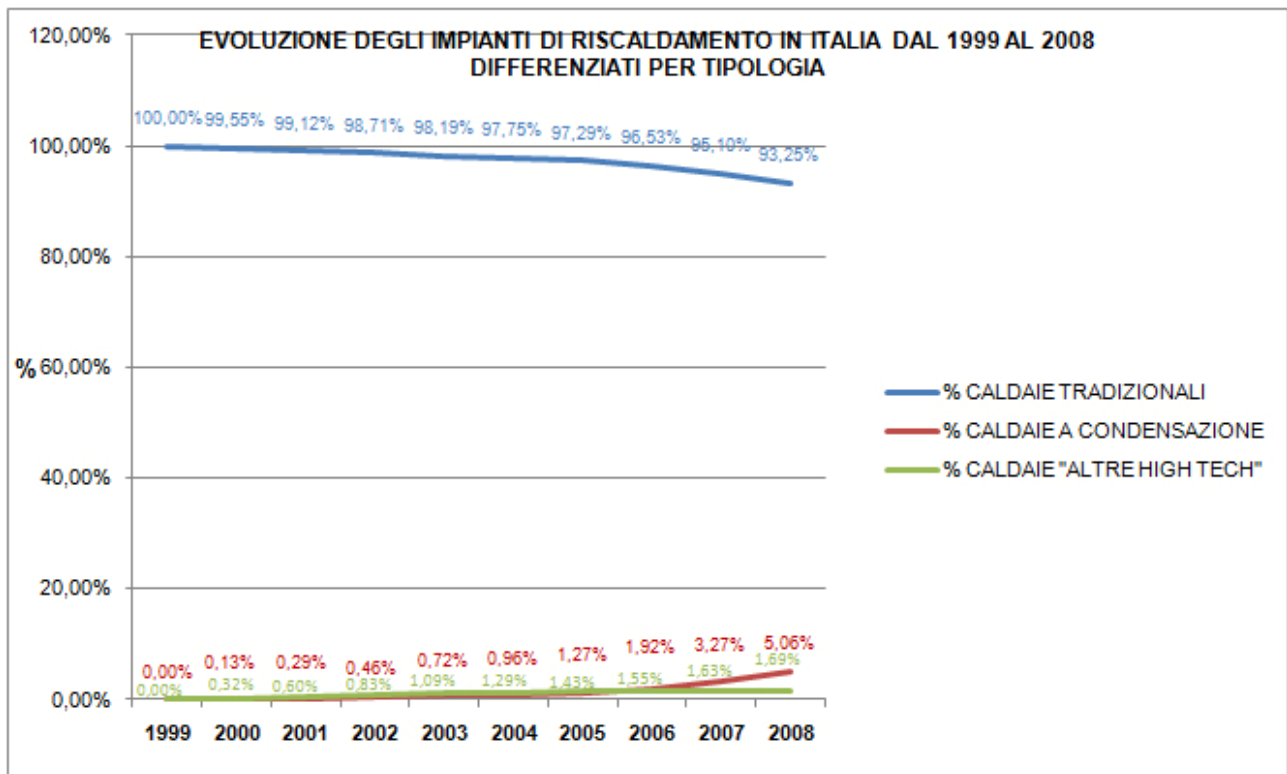


Figura 24. Evoluzione degli impianti "Altre High-Tech" dal 1999 al 2008, ( Atig e Assotermica, 2009).

Nella figura 24, è interessante vedere come dall'anno cosiddetto "zero", il mercato delle caldaie a condensazione sia andato crescendo senza interruzioni soprattutto nel periodo che ha seguito gli incentivi dettati dalla Finanziaria 2007. Le caldaie a temperatura scorrevole e a bassa temperatura, hanno avuto un successo iniziale andato affievolendosi al crescere della tipologia a condensazione. Tuttavia è risultato che le caldaie tradizionali siano ancora le più vendute e le più presenti sul territorio nazionale; questo è dovuto principalmente alla loro maggiore economicità che riesce ad avere la meglio sulla migliore efficienza termica.

Si può vedere come le caldaie tradizionali risultino in calo dal 1999 al 2008 nonostante comunque mantengano la percentuale maggiore tra le installazioni nazionali.

La linea rossa mostra come il mercato si stia muovendo verso il nuovo orizzonte della condensazione passando nel giro di nove anni dallo zero percento al quasi sei percento del totale degli impianti presenti sul suolo nazionale. L'incremento delle vendite e quindi delle installazioni di tale tipologia resta in ogni caso altamente inferiore rispetto agli apparecchi tradizionali; non si può dire che questa tipologia sia riuscita a guadagnare una scena tale per poter parlare di una rivoluzione del mercato e della composizione del parco impiantistico nazionale.



In figura 25 invece, si può vedere il rapporto che intercorre tra le sostituzioni e le nuove installazioni che vengono effettuate nel settore impiantisti relativamente al riscaldamento domestico. Risulta che annualmente avvengano più sostituzioni che nuove installazioni.

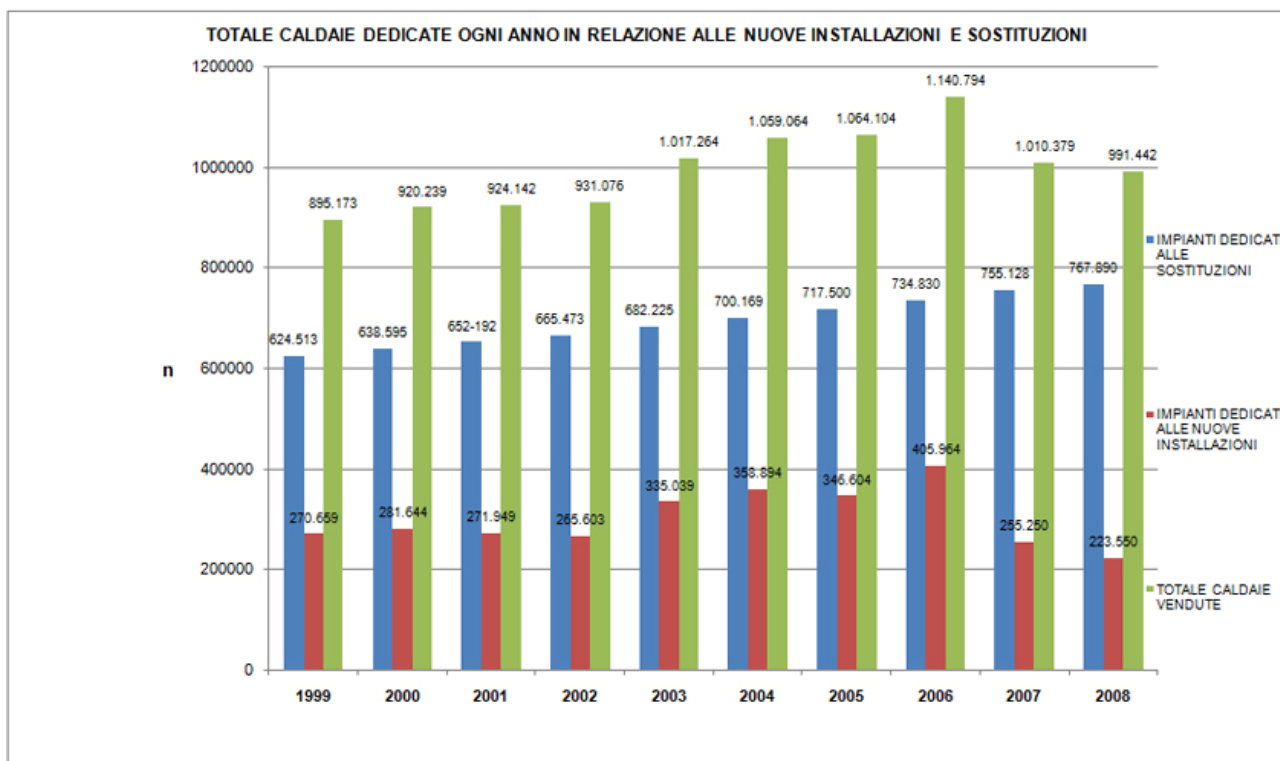


Figura 25. Caldaie assegnate alla sostituzione e alle nuove installazioni, ( Atig e Assotermica, 2009).

Nella Figura 25 viene mostrato inoltre un quadro di previsione del parco installato attraverso le linee di tendenza sviluppate con il programma Excel 2007. Ipotizzando che le condizioni di mercato rimangano costanti e simili a quelle di oggi, tali linee di tendenza indicano come possa evolversi il parco nazionale impiantistico relativamente al riscaldamento residenziale.

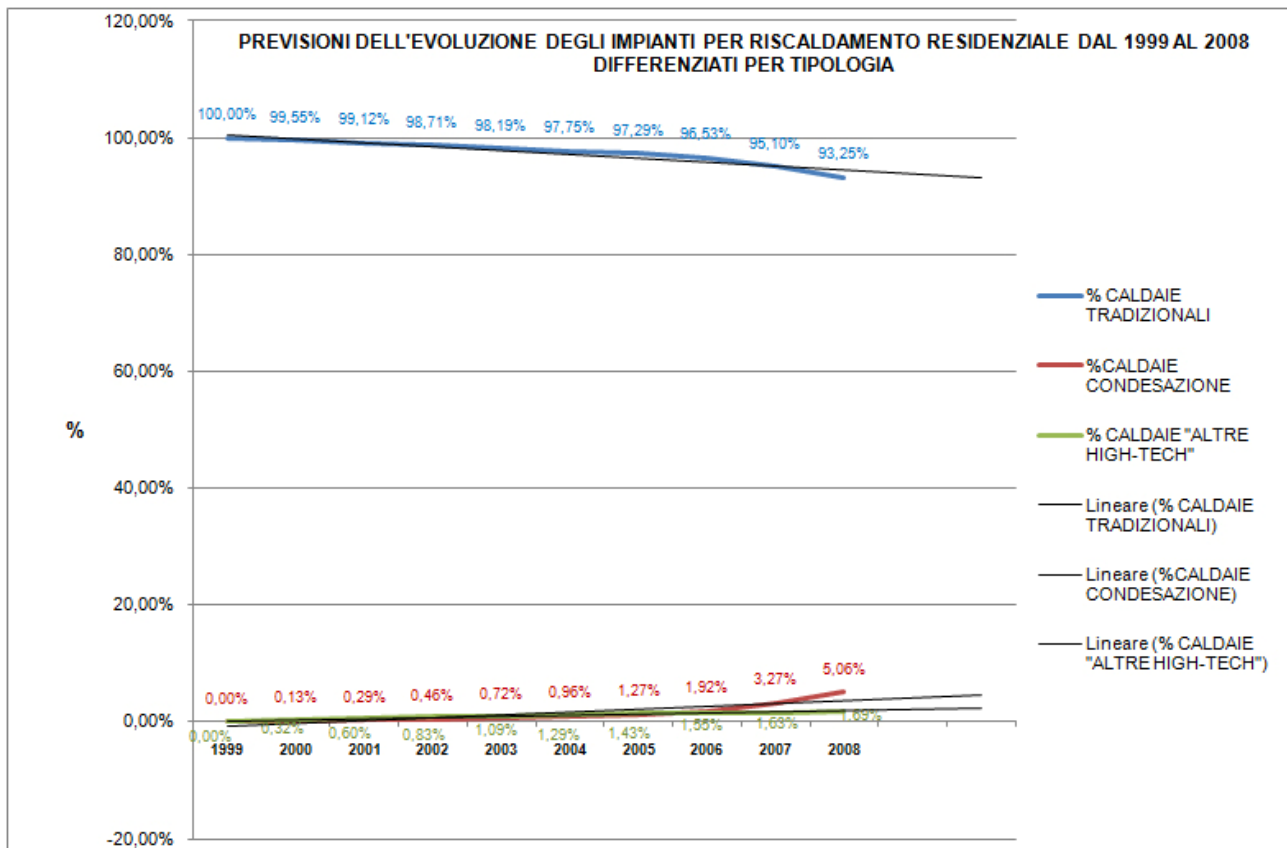


Figura 26. Caldaie tradizionali, a condensazione e altre high-tech<sup>75</sup> presenti sul territorio nazionale dal 1999 al 2008, dato in %, e rispettive linee di tendenza ( Atig e Assotermica, 2009).

Dalle previsioni, in figura 26, si vede una graduale diminuzione della presenza di caldaie tradizionali, una crescita della tipologia a condensazione e una stabilizzazione di quella definita “altre high-tech”.

Ciò ovviamente potrebbe vedere il verificarsi di variazioni rispetto alle previsioni stimate dalle linee di tendenza. Ad esempio, l’ipotesi del modificarsi del mercato potrebbe essere influenzato dal termine degli incentivi fiscali istituiti dalla Finanziaria 2007 previsti per la fine del 2010. Questo potrebbe comportare una inversione di tendenza e una rinuncia all’investimento nel miglioramento impiantistico da parte di società e privati. Altra ragione plausibile potrebbe essere l’ingresso di sistemi di alimentazione energetica alternativi e ipoteticamente più efficienti delle semplici caldaie “high-tech” come ad esempio le pompe di calore, il teleriscaldamento e la generazione distribuita.

<sup>75</sup> Per “altre high-tech” come precedentemente detto e per rimanere conformi alla definizione usata da Assotermica nei quadri di vendita, si intende indicare le caldaie a temperatura scorrevole e bt.

#### **4.2.2 Evoluzione del parco caldaie nazionale relativamente al settore del riscaldamento domestico, in relazione alle emissioni di NOx**

Dopo aver ricostruito la storia del parco installato degli impianti per riscaldamento domestico degli ultimi dieci anni, l'attenzione della ricerca è continuata soffermandosi sulle emissioni inquinanti prodotte da tale settore.

L'obiettivo finale è stato di capire che effetto ha avuto sulla produzione di emissioni l'ingresso sul mercato delle nuove tecnologie di impianti efficienti.

Si è voluto analizzare che tipo di cambiamento subiva il tenore di produzione di emissioni NOx conseguentemente all'entrata sul mercato delle nuove tipologie di apparecchi termici a maggiore efficienza e minor tenore emissivo.

Per raggiungere tale obiettivo, sono state prese in considerazione tre caldaie diverse marca Immergas (tabella 59) in quanto, dopo un'attenta indagine, sono state considerate rappresentative delle tipologie più diffuse sul territorio nazionale: una caldaia tradizionale, una a condensazione e una a bassa temperatura (definita poi "altre High-Tech").

Delle tre tipologie sono stati considerati i tre fattori di emissione<sup>76</sup> degli NOx espressi in mg/kWh calore prodotto.

- . Fattore emissione caldaia a condensazione: 37 mg/kWh;
- . Fattore emissione caldaia a bassa temperatura: 138 mg/kWh;
- . Fattore emissione caldaia tradizionale: 170 mg/kWh.

Tali fattori di emissione sono stati poi calcolati in mg/m<sup>3</sup> gas consumati<sup>77</sup>.

In seguito, al fine di trovare un fattore di emissione medio per gli NOx annuo (tabella 60) prodotto dal riscaldamento domestico, è stata realizzata una media pesata tra le percentuali di impianti di ogni tipologia sul totale impianti presenti nelle abitazioni italiane e, i rispettivi fattori di emissione NOx (espressi in mg/m<sup>3</sup><sub>gas</sub>) dei tre prototipi scelti. Questo passaggio è stato realizzato per ogni anno.

Moltiplicando poi tale fattore di emissione medio annuo per i relativi consumi di gas naturale nazionali annui, sono state calcolate quante tonnellate di NOx all'anno vengono prodotte (tabella 61). (fattore medio annuo di emissione NOx (mg/m<sup>3</sup><sub>gas</sub>) \* gas combusto M(m<sup>3</sup>) di ogni anno = t NOx all'anno prodotte).

---

<sup>76</sup> Al fine della realizzazione dei calcoli sono stati considerati i valori limite stabiliti dalla normativa UNI EN 483:

- . Fattore emissione caldaia a condensazione: 70 mg/kWh;
- . Fattore emissione caldaia a bassa temperatura: 150 mg/kWh;
- . Fattore emissione caldaia tradizionale: 200 mg/kWh.

<sup>77</sup> Per ottenere tale dato è stato utilizzato il Potere Calorifico Inferiore del Gas Naturale (metano - denominato G20) pari a 36 MJ/m<sup>3</sup> (fonte: AEEG).

Tipologia caldaia	condensazione
marca	VICTRIX Superior 26 kW - Immergas
Rendimento al 100% Pn (80/60°C)	97,6
Rendimento al 30% del carico (80/60°C)	101,0
Rendimento al 100% Pn (50/30°C)	105,7
Rendimento al 30% del carico (50/30°C)	106,5
Rendimento al 100% Pn (40/30°C)	105,8
Rendimento al 30% del carico (40/30°C)	107,0
Marcatura rendimento energetico (D.P.R. 660/96)	stelle ***
Alimentazione	Gas metano (G20)
Temperatura fumi portata termica massima (°C)	78
Temperatura fumi portata termica minima (°C)	64
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	51
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	32
Contenuto di NOx ponderato <sup>78</sup> (mg/kWh)	37
Classe di NOx	5
Tipologia caldaia	Bassa temperatura
marca	Eolo Mini 24 kW - Immergas
Rendimento al 100% Pn	93,6
Rendimento al 30% del carico	90,3
Marcatura rendimento energetico (D.P.R. 660/96)	stelle ***
Alimentazione	Gas metano (G20)
Temperatura fumi portata termica massima (°C)	101
Temperatura fumi portata termica minima (°C)	94
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	180
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	140
Contenuto di NOx ponderato (mg/kWh)	138
Classe di NOx	3
Tipologia caldaia	standard
marca	Eolo Superior 24kW - Immergas
Rendimento al 100% Pn	93,0
Rendimento al 30% del carico	90,5
Marcatura rendimento energetico (D.P.R. 660/96)	stelle ***
Alimentazione	Gas metano (G20)
Temperatura fumi portata termica massima (°C)	119
Temperatura fumi portata termica minima (°C)	99
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	247
NOx alla portata termica massima (mg/kWh)	168

<sup>78</sup> Ponderato: Nel calcolo dei valori medi, significa attribuire ai singoli valori un peso, cioè un coefficiente proporzionale all'importanza, che esprime la frequenza con la quale si presentano.

Contenuto di NOx ponderato (mg/kWh)	170
Classe di NOx	2

Tabella 59. Scheda tecnica delle caldaie scelte come prototipi, (catalogo SIME, 2008).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Fattore medio di emissione annuo di NOx (mg/m<sup>3</sup> gas)</b>	1840	1836	1833	1830	1826	1822	1818	1810	1794	1773

Tabella 60. Fattori medi di emissione di NOx annui per riscaldamento residenziale, (calcoli elaborati su dati Assotermica e Cresme, 2010).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Fattore medio di emissione NOx (mg/m<sup>3</sup>)</b>	1840	1836	1833	1830	1826	1822	1818	1810	1794	1773
<b>Consumi finali gas naturale nel riscaldamento residenziale M(m<sup>3</sup>)</b>	15661	14760	15394	15425	17347	18037	19350	20757	17183	18705
<b>Emissioni tot. annue di NOx (t)</b>	28816240	27113979	28230522	28238366	31684576	32876491	35186420	37576851	30830960	33166113

Tabella 61. Emissioni totali annue (tonnellate di NOx) calcolate moltiplicando il fattore medio di emissione annuo (mg/m<sup>3</sup> gas) per i relativi consumi finali di gas naturale nel riscaldamento residenziale M(m<sup>3</sup>).

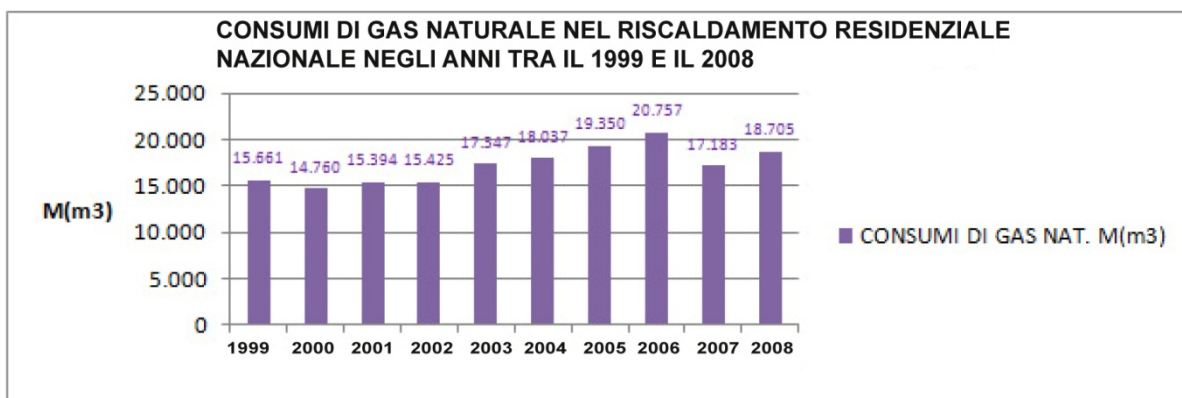


Figura 27. Consumi finali annui di gas naturale nel riscaldamento residenziale, (AEEG, 2010).

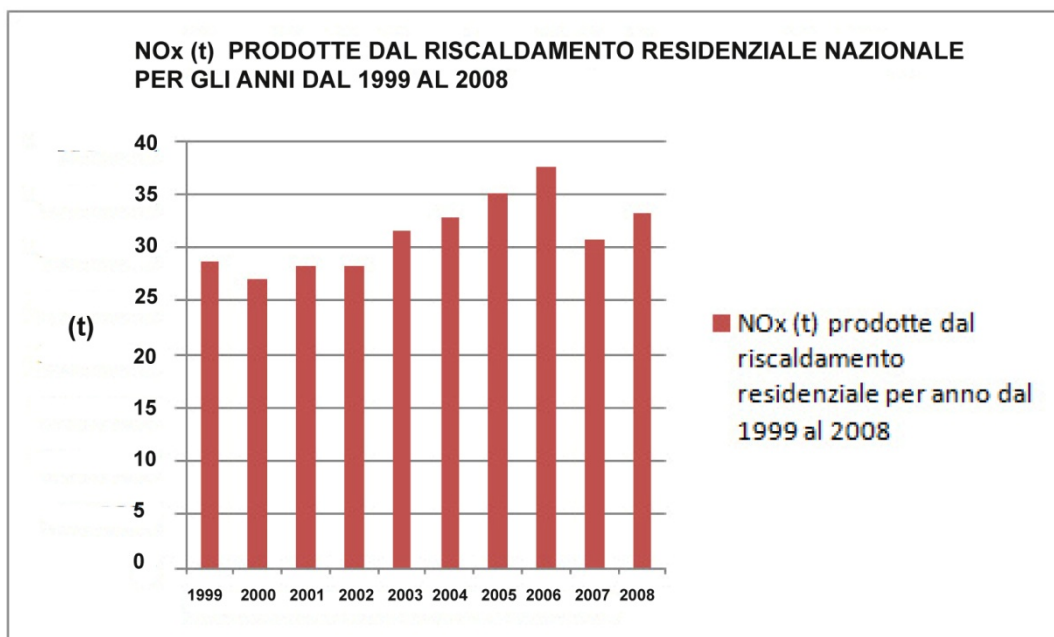


Figura 28. Emissioni totali annue (t) di NOx ( $\text{mg}/\text{m}^3$  gas), (risultati ottenuti su dati AEEG, Assotermica e Cresme, 2010).

In Figura 28 sono indicati i consumi finali di gas naturale nel riscaldamento residenziale espressi in  $\text{M}(\text{m}^3)$  dal 1999 al 2008<sup>79</sup> e le tonnellate di emissioni totali annue di NOx prodotte in base ai  $\text{M}(\text{m}^3)$  di gas combusti anno per anno.

È interessante notare come la tendenza delle emissioni che vengono prodotte dal riscaldamento domestico a scala nazionale, sia quella di seguire i consumi di gas impiegato.

Dai risultati ottenuti si percepisce anche come il miglioramento della qualità impiantistica installata sul parco nazionale soprattutto negli ultimi due anni, non influisca particolarmente sulle quantità di emissioni di NOx prodotte. Dai grafici non sembra registrarsi un' inflessione di produzione di ossidi di azoto tra il 2007 e il 2008 da collegarsi all'aumento di installazioni efficienti; appare tuttavia evidente come vada di pari passo ai consumi di gas.

Il verificarsi di ciò dipende dal fatto che fino ad oggi la presenza degli apparecchi con tecnologie ad alta efficienza sia stata quantitativamente insufficiente per poter influenzare in maniera evidente la produzione di emissioni e, nel nostro caso, le emissioni di ossido di azoto.

È necessario che l'ingresso sul mercato di tali tipologie sia maggiormente incentivato e supportato per poterne vedere gli effetti positivi.

<sup>79</sup> AEEG, 2009.

#### **4.2.2.1 Ripartizione geografica del parco installato in relazione alle emissioni di NOx**

Al fine di vedere la ripartizione geografica delle emissioni di ossidi di azoto sul territorio italiano è stata fatta un'indagine a livello comunale. Al fine di ottenere ciò, sono stati moltiplicati i consumi di gas annuali per il riscaldamento residenziale dei Comuni nazionali più importanti. Tali consumi sono poi stati moltiplicati per il fattore di emissione medio annuo.

Questo ragionamento è stato fatto anche per il Nord, Centro e Sud Italia, (figure da 29 a 74).

Anzitutto, è stato necessario ricavare i dati relativi al consumo di gas naturale annui relativi al riscaldamento domestico per i comuni considerando gli anni dal 2000 al 2008. Per ottenere tale valore sono stati moltiplicati i consumi pro-capite<sup>80</sup> (m<sup>3</sup>/abitante) annui di ogni comune per il relativo numero di abitanti.

Poiché i dati concernenti i consumi pro-capite si riferivano ai “consumi domestici e riscaldamento” è stato necessario ricavare il dato relativo al consumo del solo riscaldamento domestico. Tale valore è stato desunto moltiplicando i valori pro-capite di ciascun comune con la quota percentuale nazionale<sup>81</sup> relativa ai consumi finali per riscaldamento residenziale rispetto al totale comprensivo dei consumi per usi cucina e acqua calda sanitaria risulta, pari al 70%.

A questo punto è stato possibile passare al calcolo delle tonnellate di NOx prodotte annualmente da ciascun comune. Esse sono state calcolate moltiplicando i consumi di gas naturale relativi al riscaldamento domestico annui per il fattore di emissione di NOx medio annuo.

Nelle seguenti tabelle da 29 a 74, vediamo anno per anno e comune per comune, i grafici relativi al consumo di gas naturale e le relative emissioni per ogni comune.

---

<sup>80</sup> Fonte Istat

<sup>81</sup> Elaborazione Enea su dati MSE, 2009

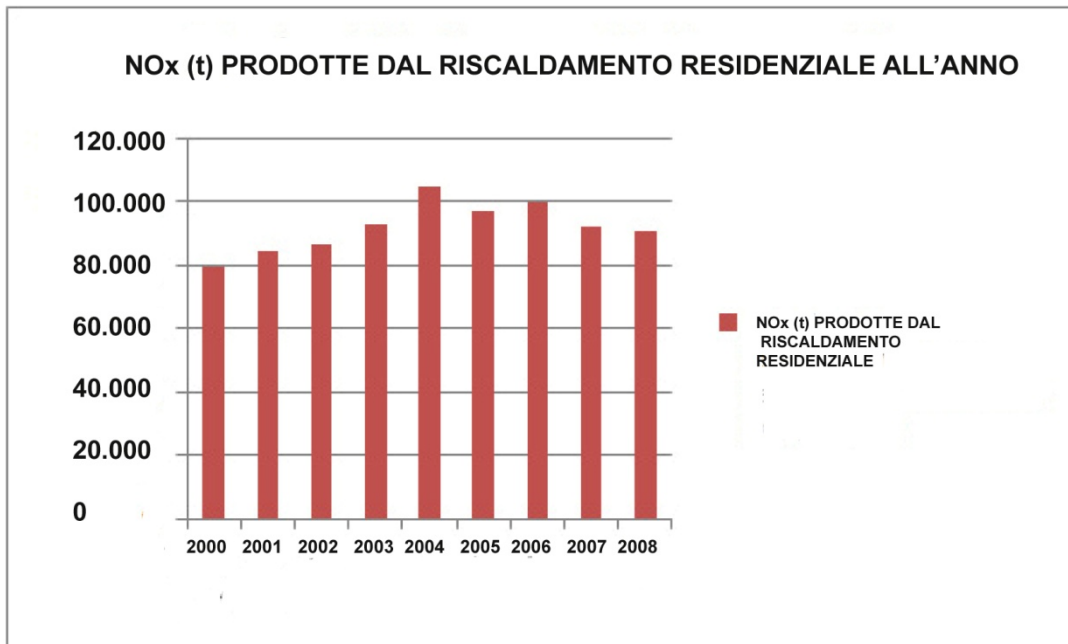


Figura 29. Produzioni di NOx (t), comune di Bari, (elaborazione dati Istat, 2010).

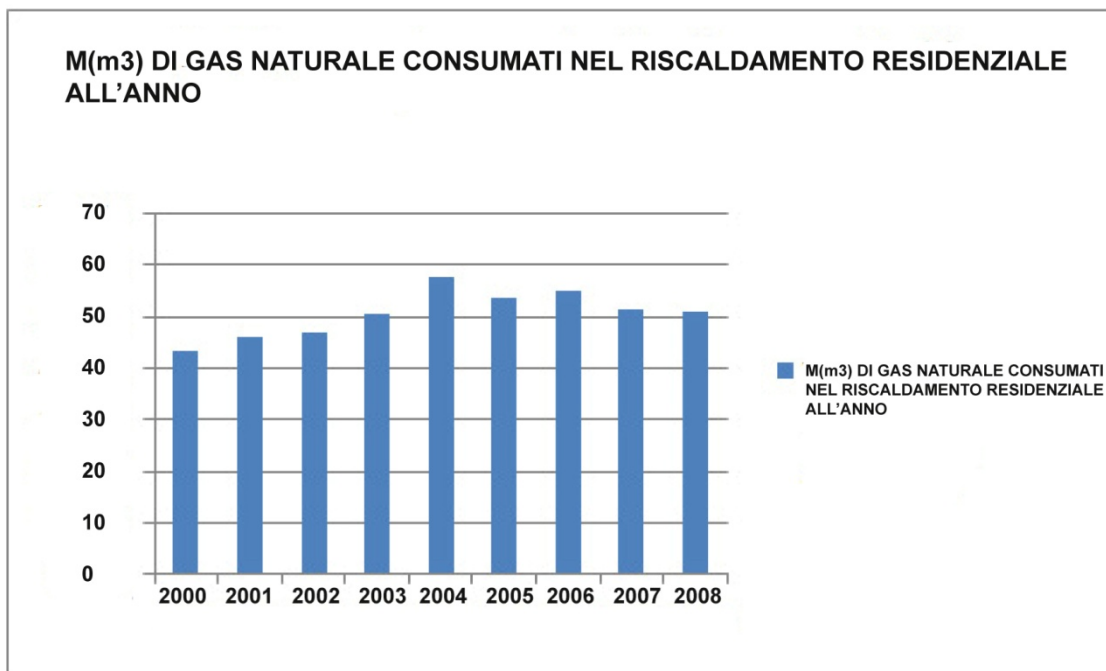


Figura 30. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Bari, (elaborazione dati Istat, 2010).



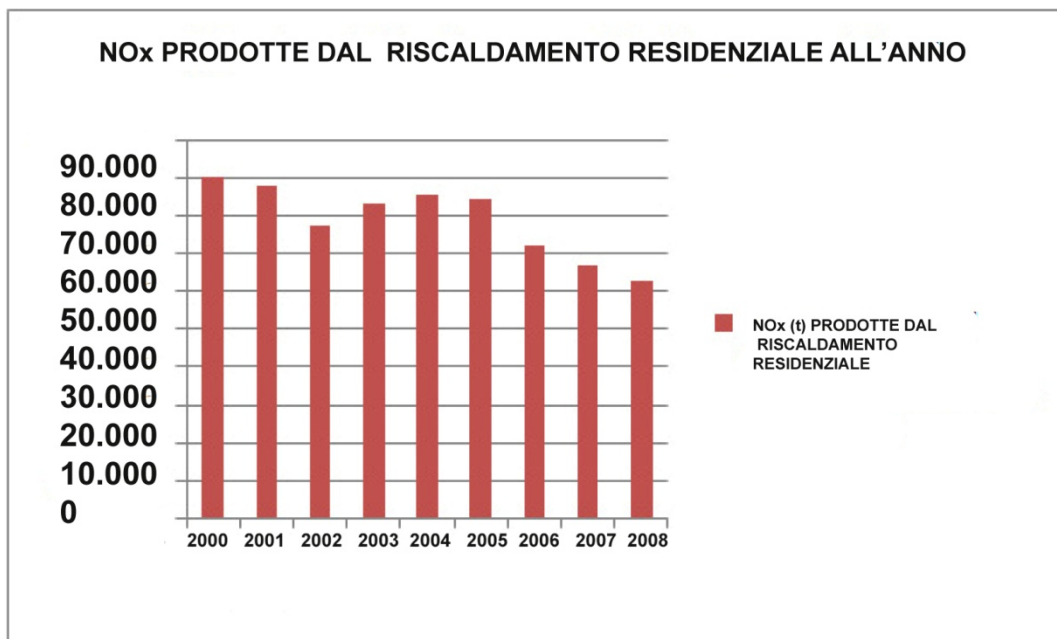


Figura 31. Produzioni di NOx (t), comune di Brescia, (elaborazione dati Istat, 2010).

**M(m<sup>3</sup>) DI GAS NATURALE CONSUMATI NEL RISCALDAMENTO RESIDENZIALE ALL'ANNO**

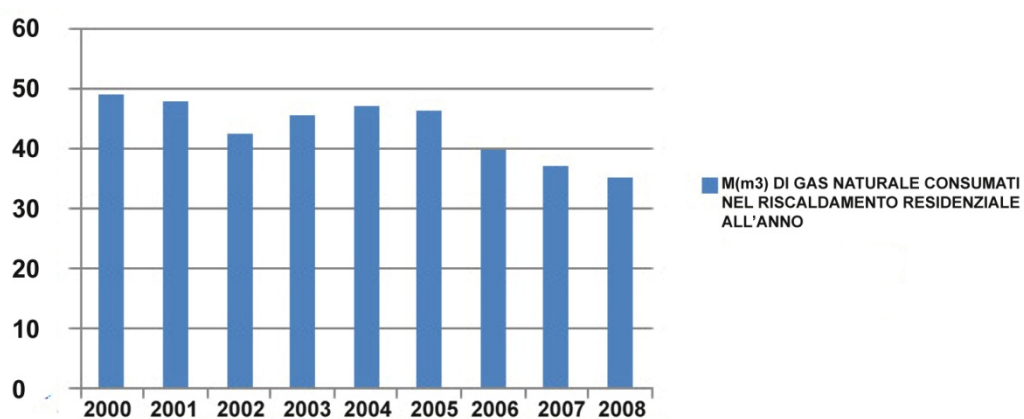


Figura 32. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Brescia, (elaborazione dati Istat, 2010).

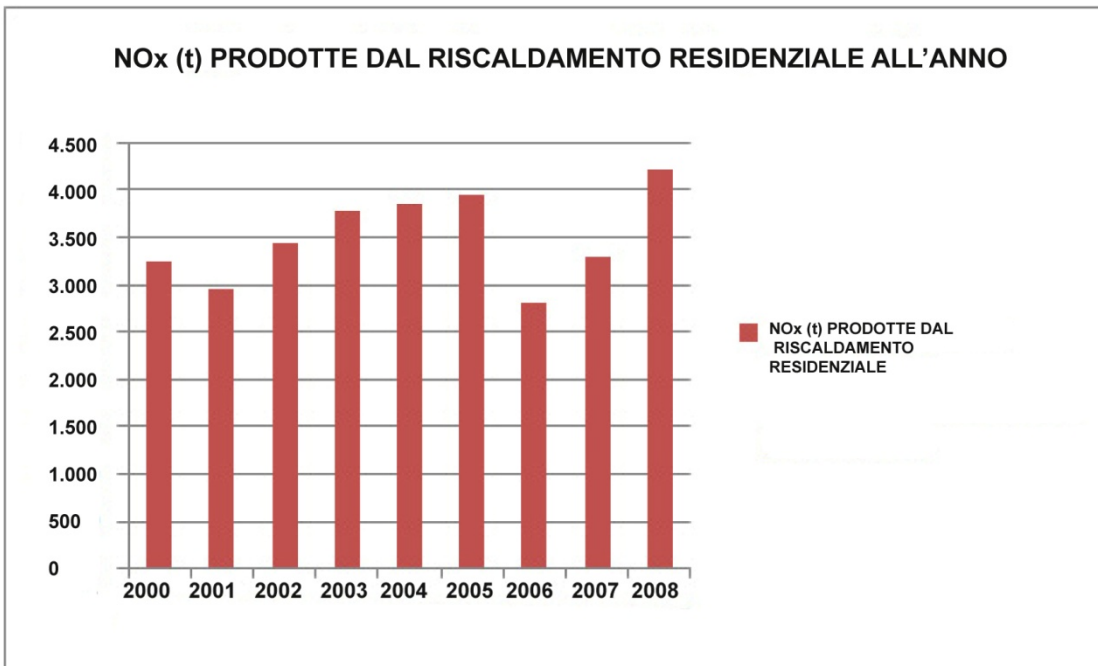


Figura 33. Produzioni di NOx (t), comune di Cagliari, (elaborazione dati Istat, 2010).

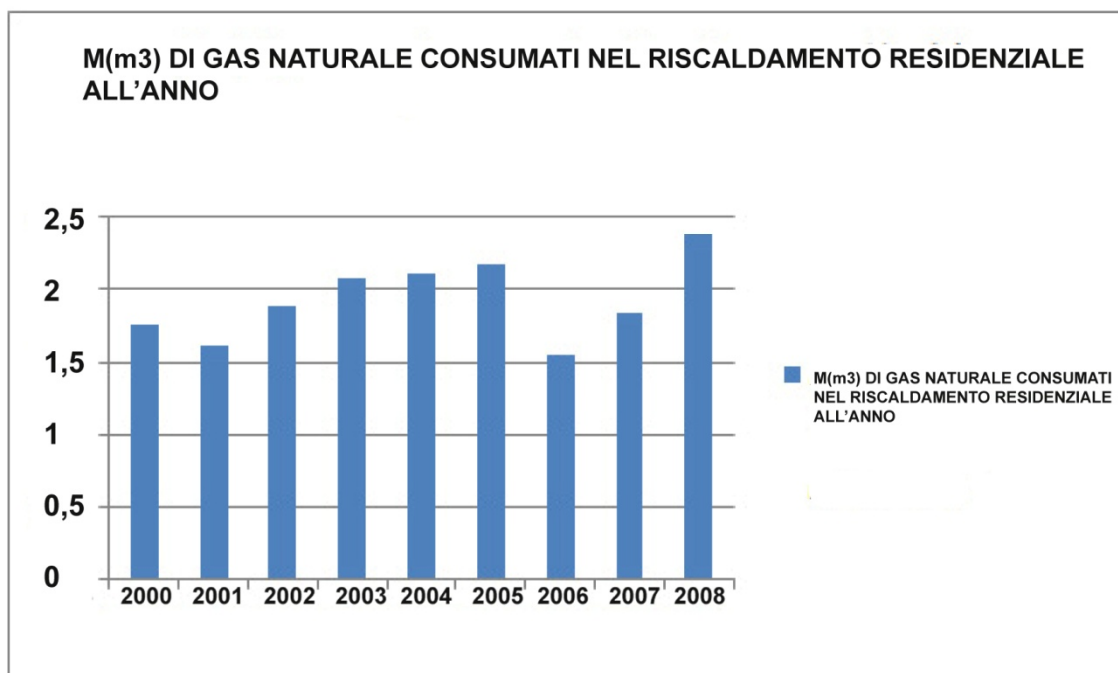


Figura 34. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Cagliari, (elaborazione dati Istat, 2010).

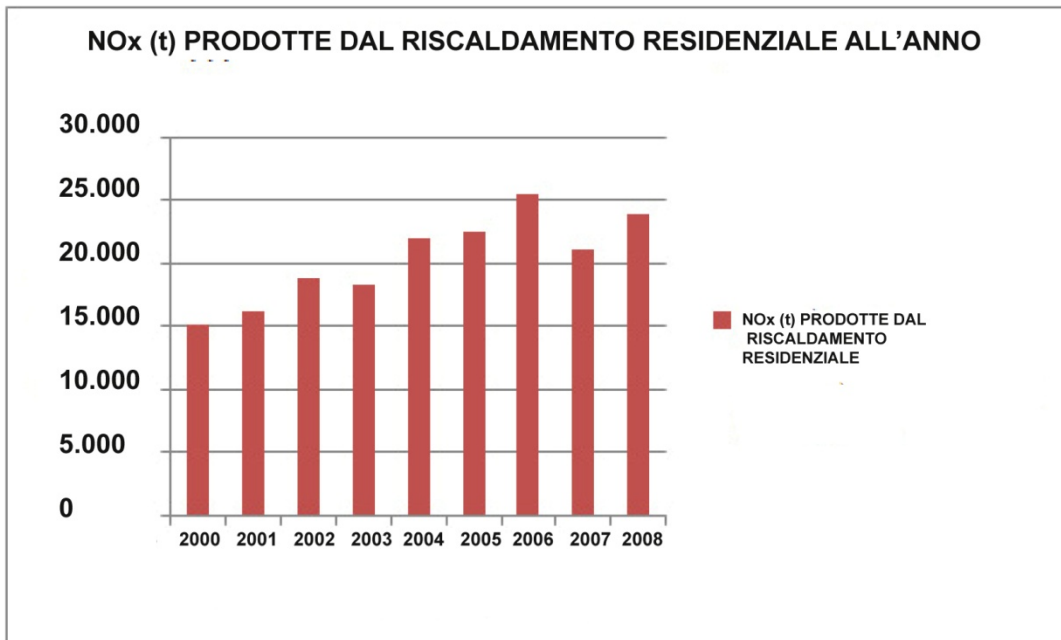


Figura 35. Produzioni di NOx (t), comune di Catania, (elaborazione dati Istat, 2010).

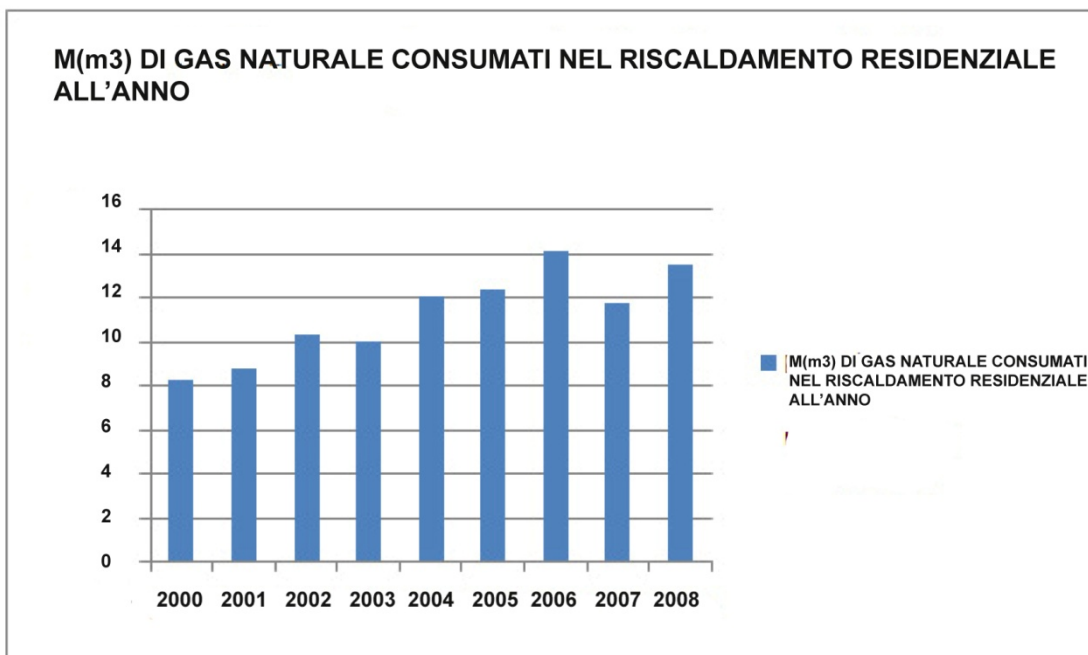


Figura 36. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Catania, (elaborazione dati Istat, 2010).

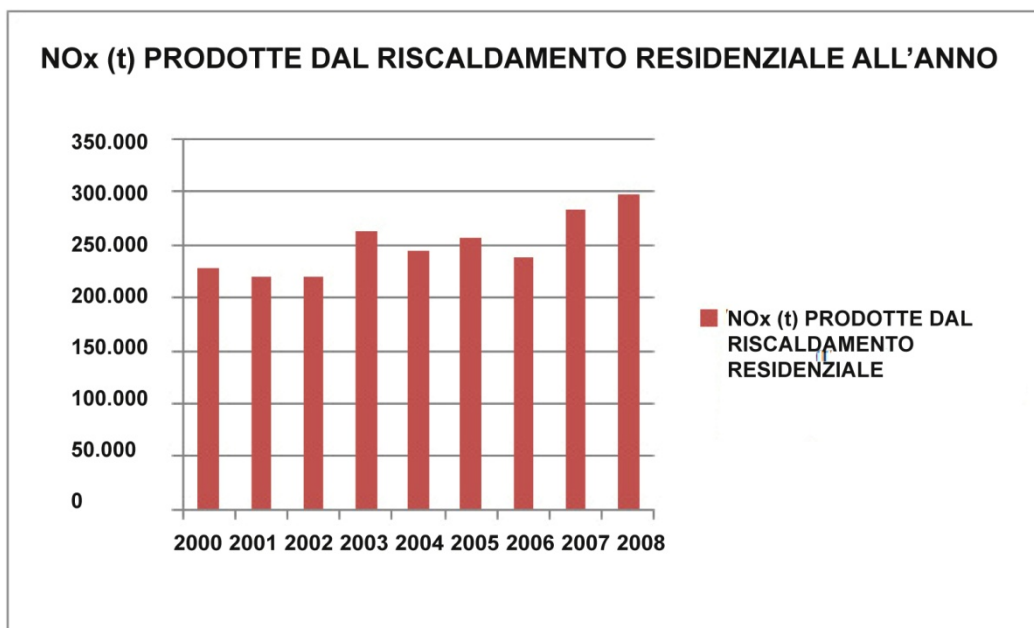


Figura 37. Produzioni di NOx (t), comune di Firenze, (elaborazione dati Istat, 2010).

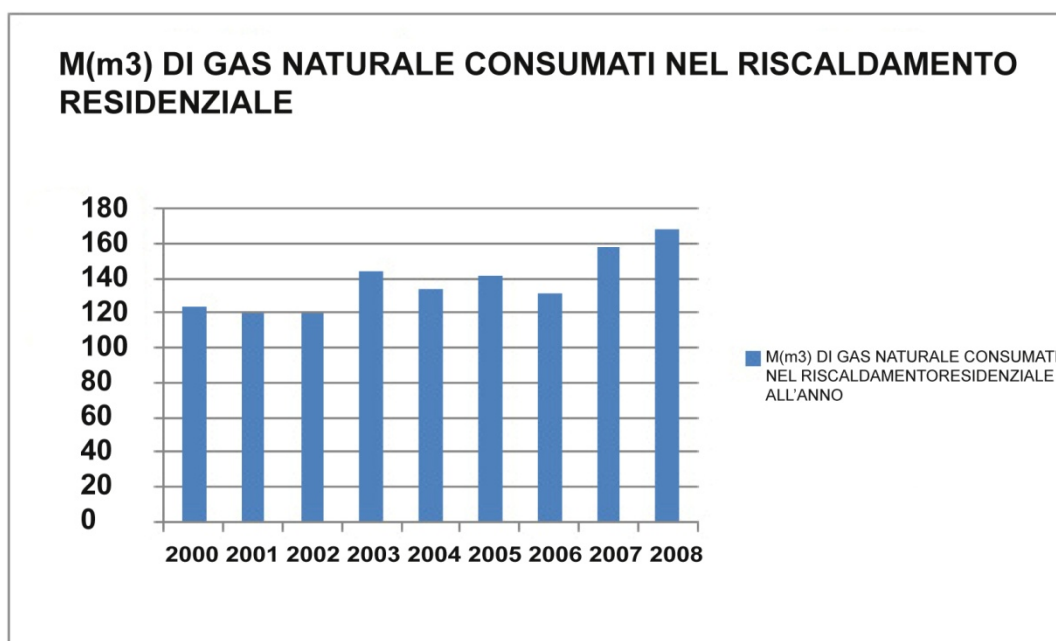


Figura 38. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Firenze, (elaborazione dati Istat, 2010).

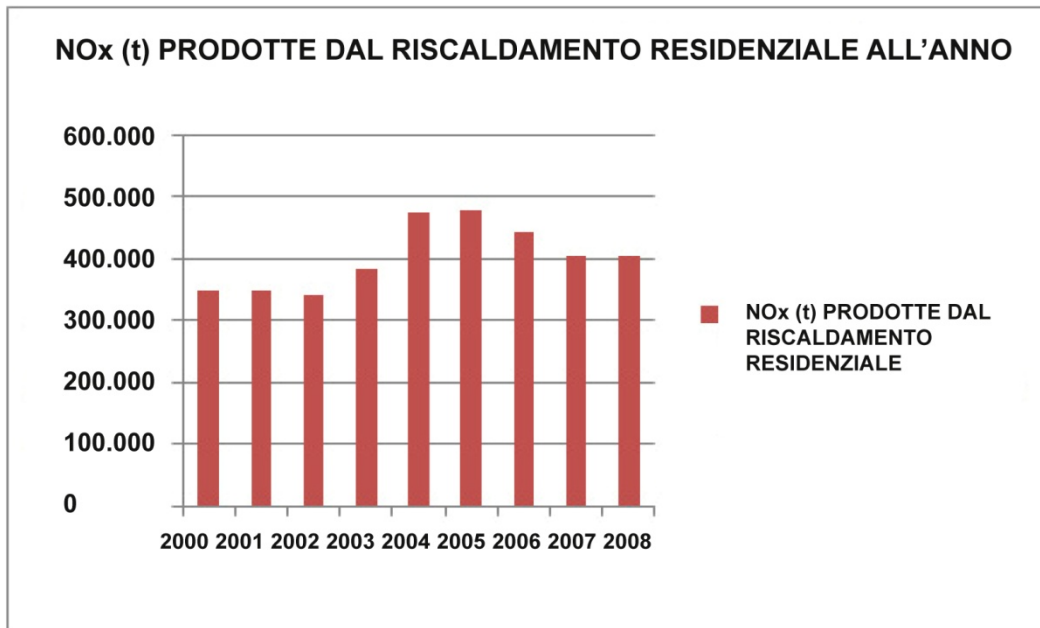


Figura 39. Produzioni di NOx (t), comune di Genova, (elaborazione dati Istat, 2010).

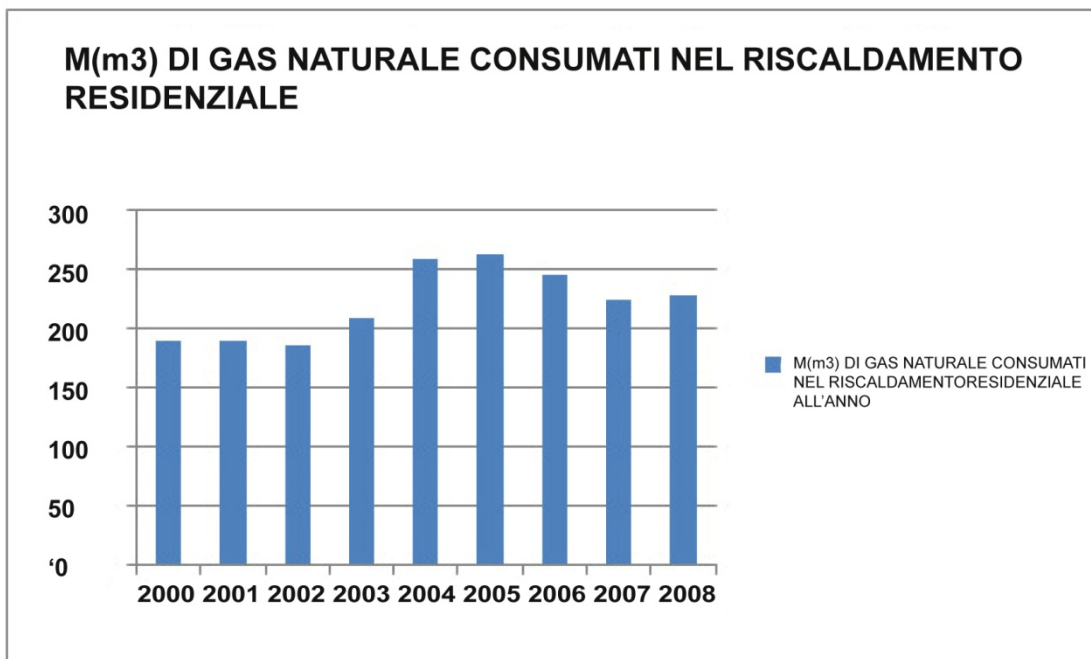


Figura 40. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Genova, (elaborazione dati Istat, 2010).

### NOx (t) PRODOTTE DAL RISCALDAMENTO RESIDENZIALE ALL'ANNO

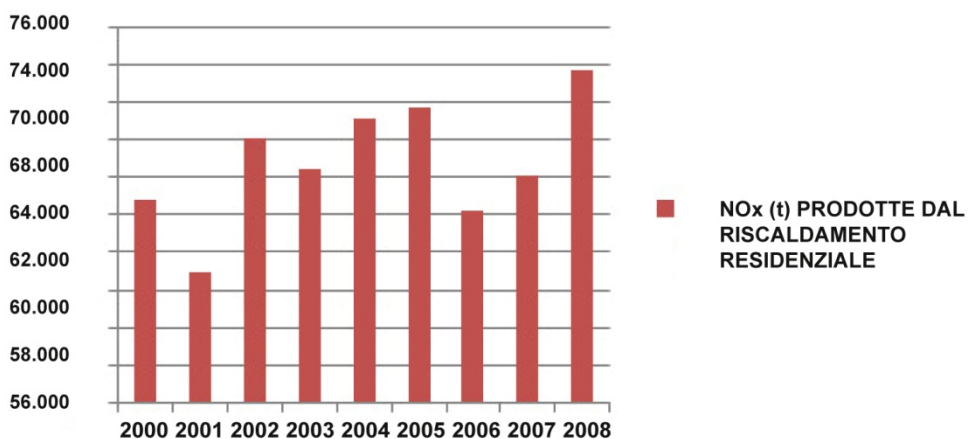


Figura 41. Produzioni di NOx (t), comune di Livorno, (elaborazione dati Istat, 2010).

### M(m<sup>3</sup>) DI GAS NATURALE CONSUMATI NEL RISCALDAMENTO RESIDENZIALE

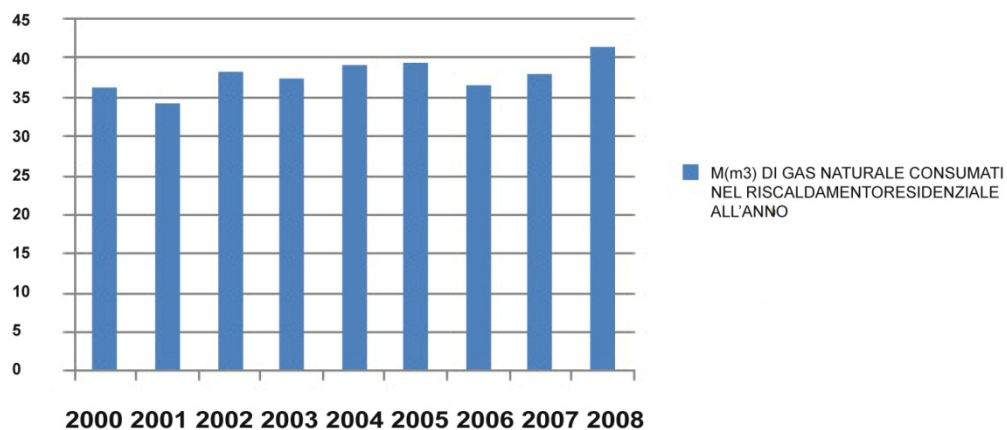


Figura 42. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Livorno, (elaborazione dati Istat, 2010).

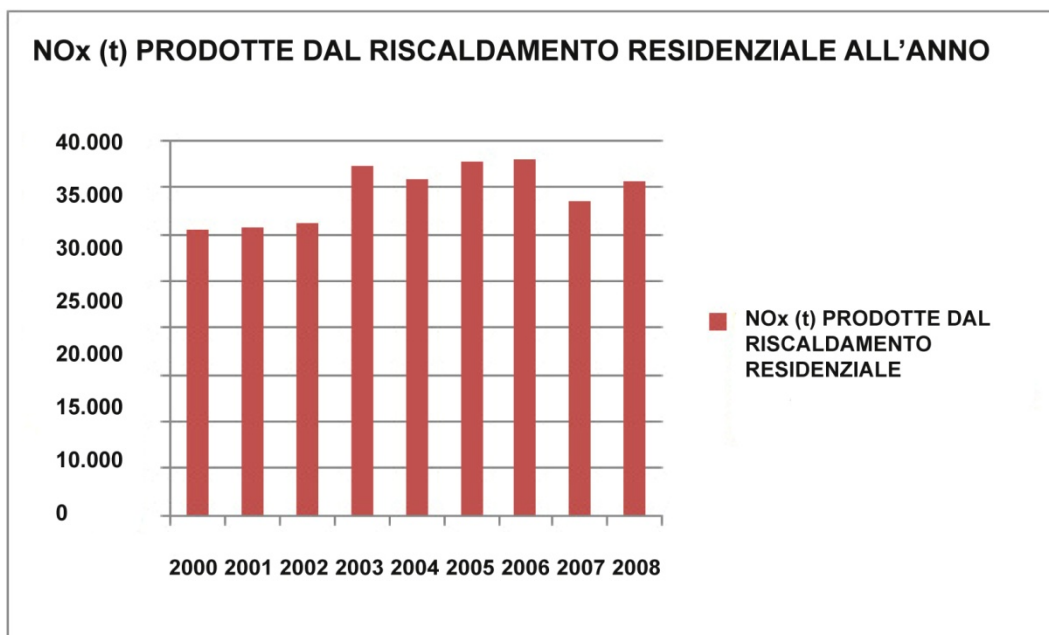


Figura 43. Produzioni di NOx (t), comune di Messina, (elaborazione dati Istat, 2010).

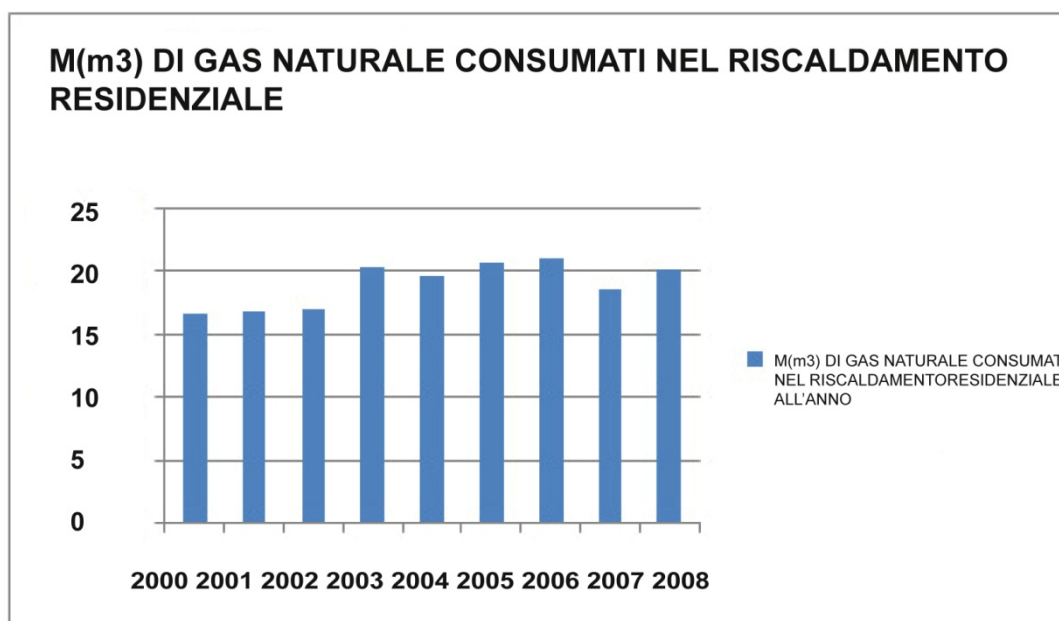


Figura 44. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Messina, (elaborazione dati Istat, 2010).

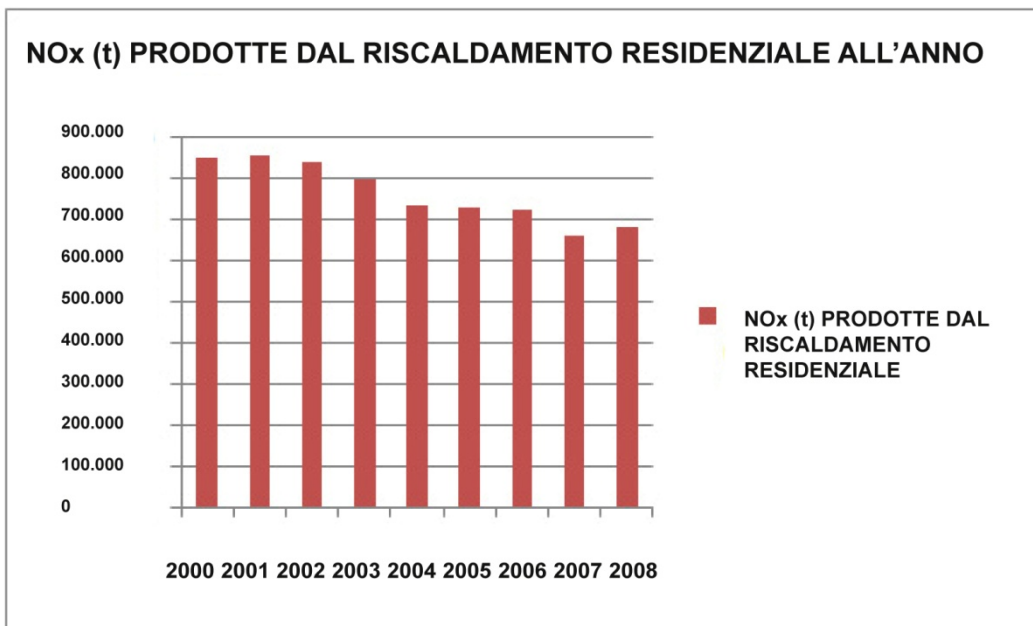


Figura 45. Produzioni di NOx (t), comune di Milano, (elaborazione dati Istat, 2010).

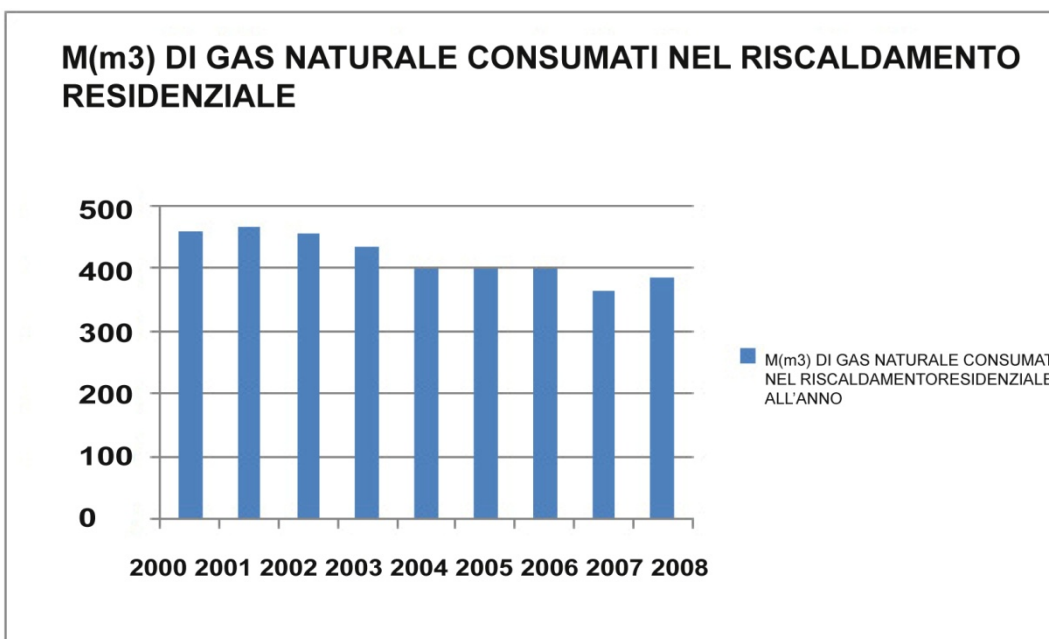


Figura 46. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Milano, (elaborazione dati Istat, 2010).



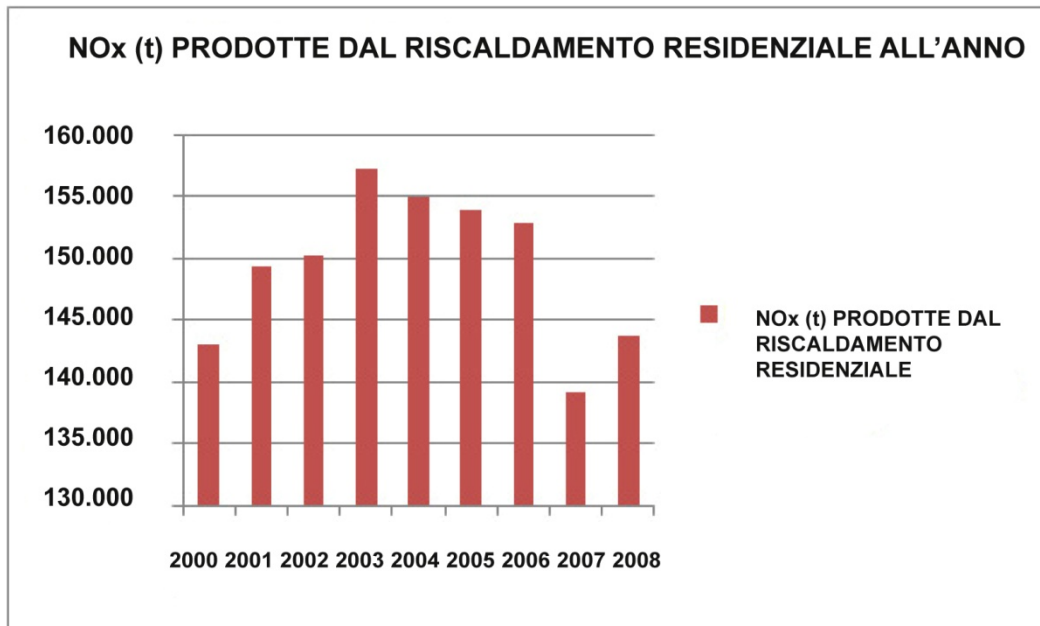


Figura 47. Produzioni di NOx (t), comune di Modena, (elaborazione dati Istat, 2010).

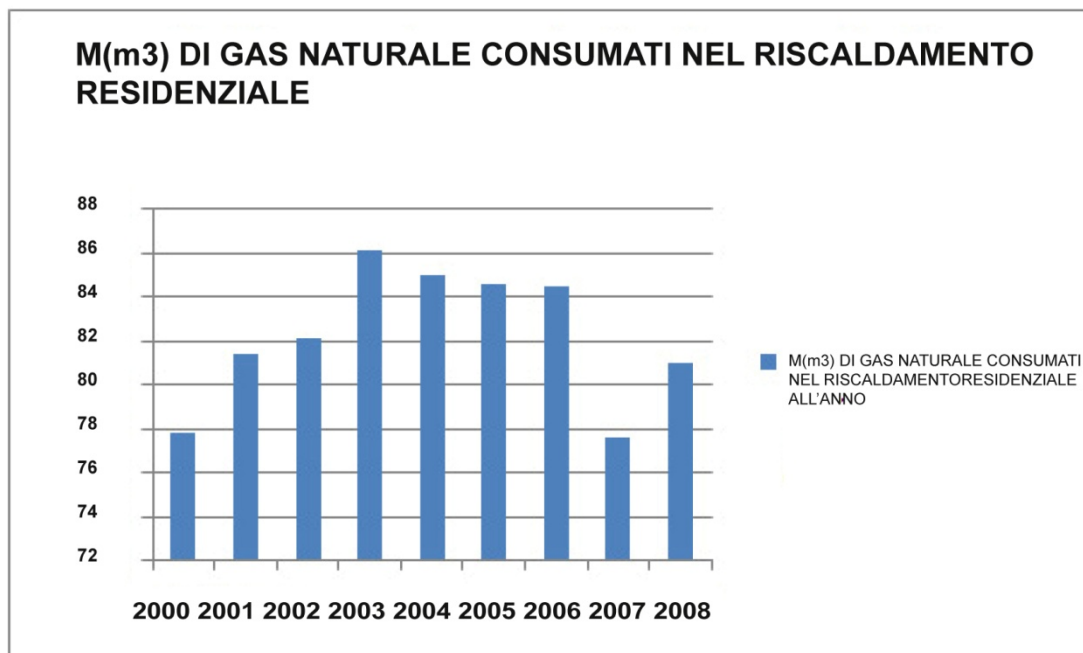


Figura 48. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Modena, (elaborazione dati Istat, 2010).

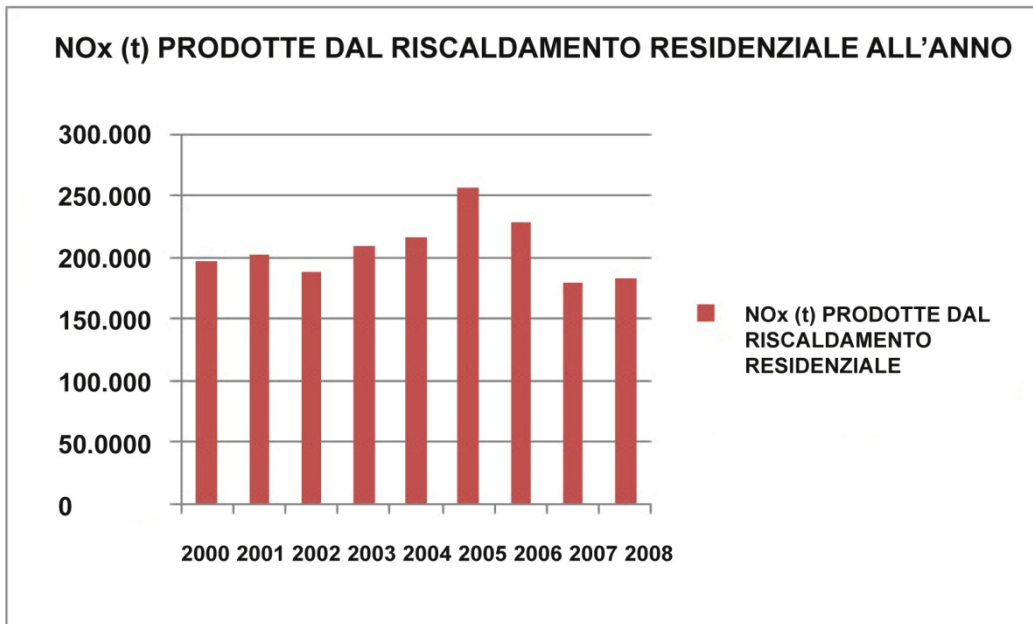


Figura 49. Produzioni di NOx (t), comune di Napoli, (elaborazione dati Istat, 2010).

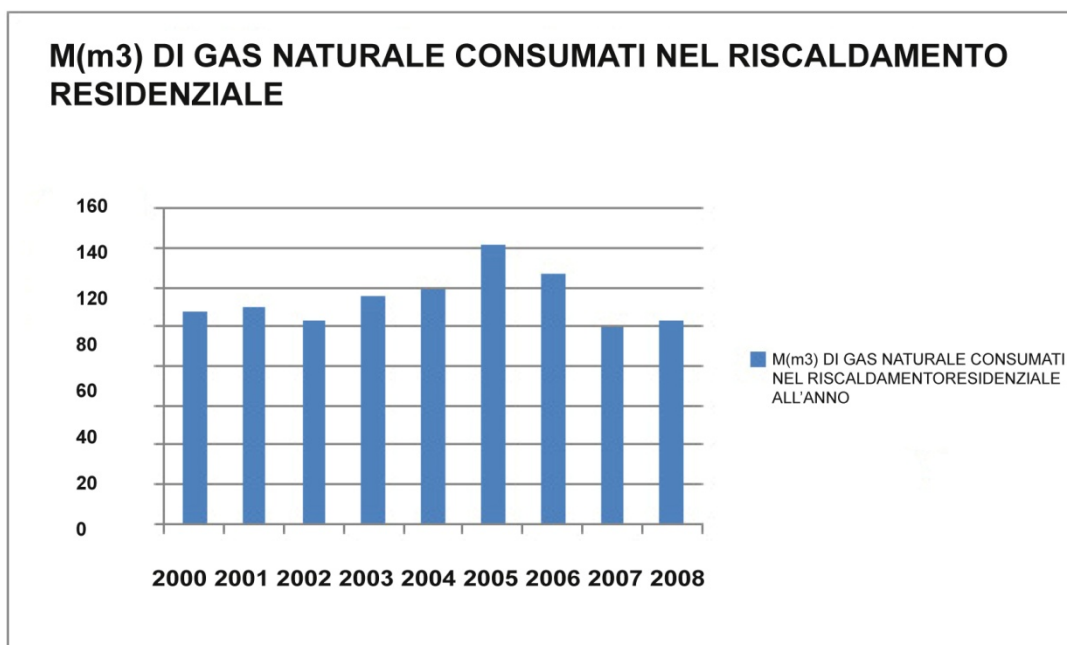


Figura 50. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Napoli, (elaborazione dati Istat, 2010).

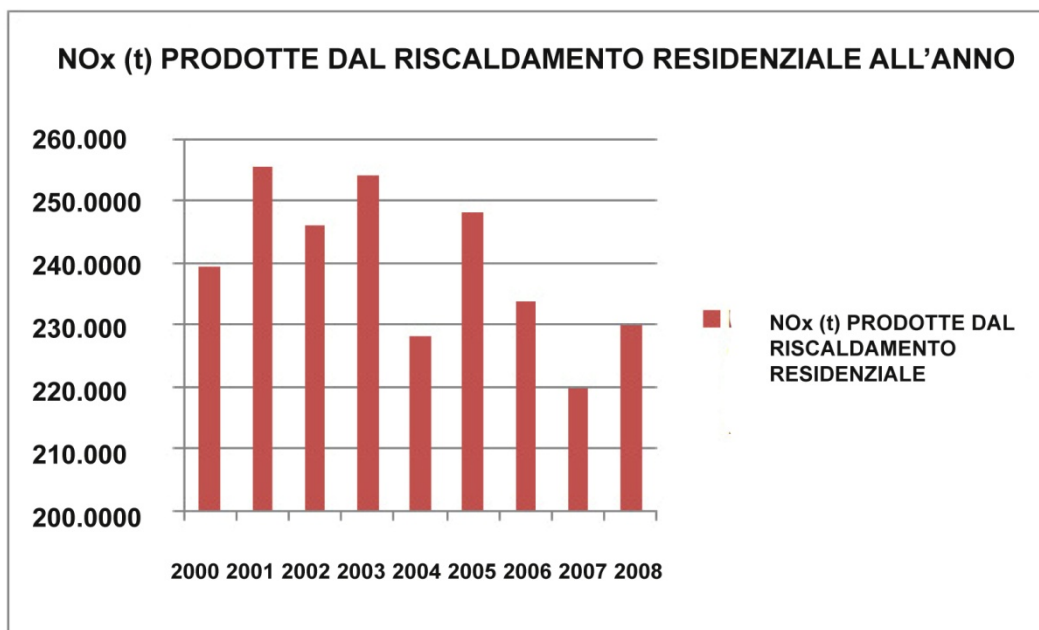


Figura 51. Produzioni di NOx (t), comune di Padova, (elaborazione dati Istat, 2010).

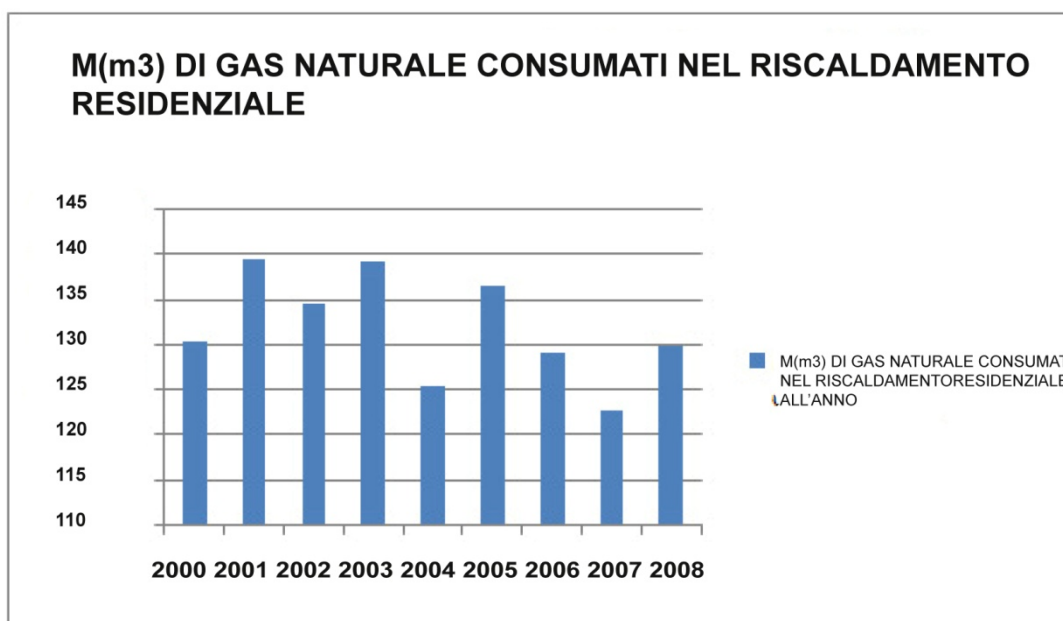


Figura 52. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Padova, (elaborazione dati Istat, 2010).

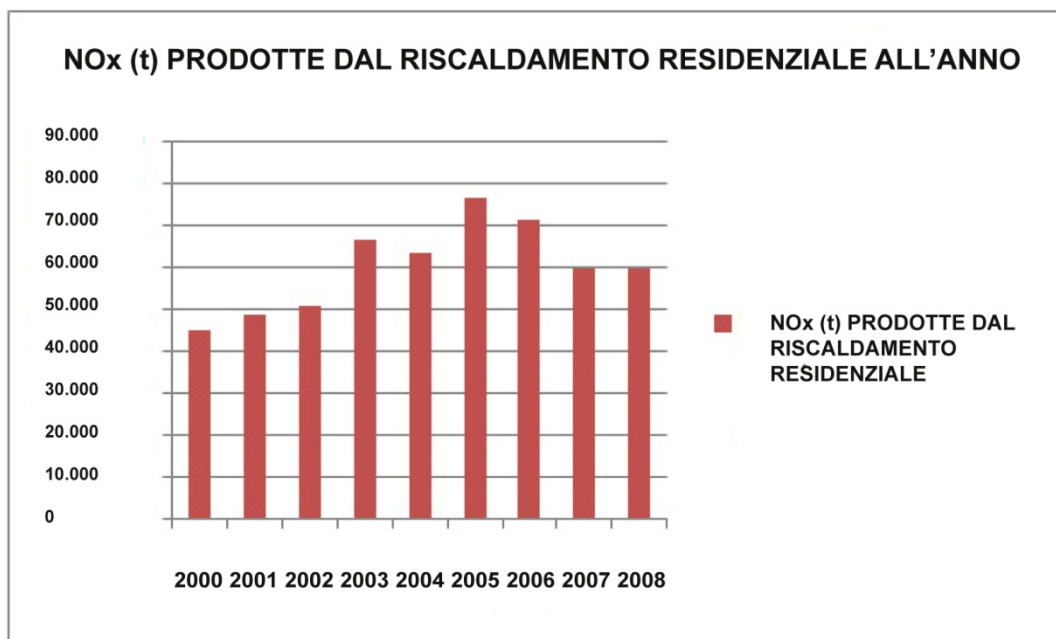


Figura 53. Produzioni di NOx (t), comune di Palermo, (elaborazione dati Istat, 2010).

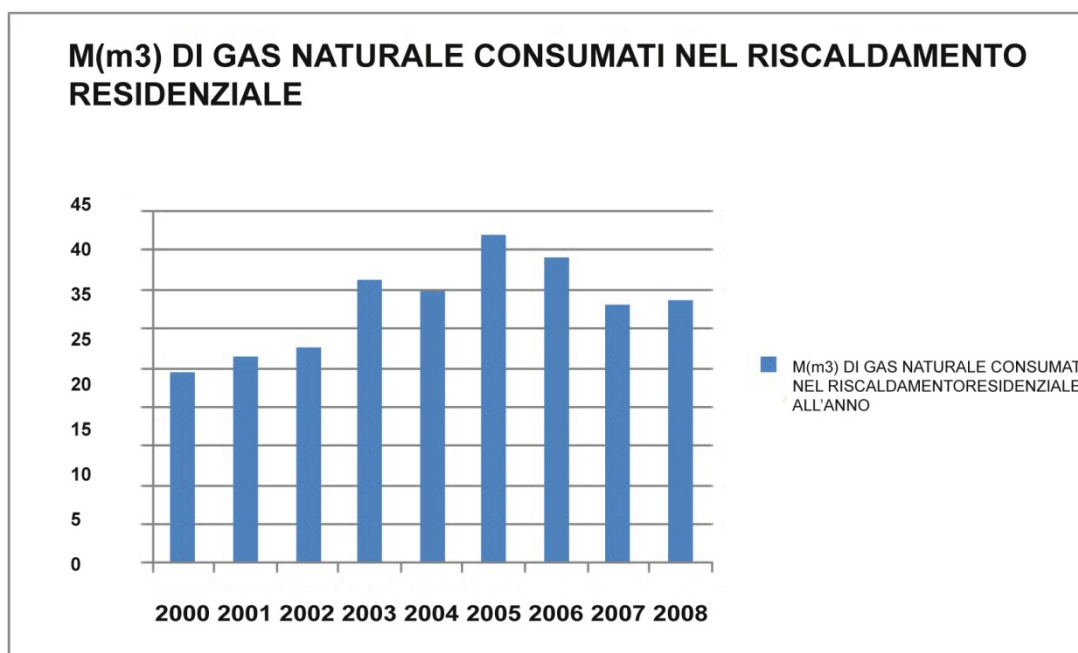


Figura 54. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Palermo, (elaborazione dati Istat, 2010).

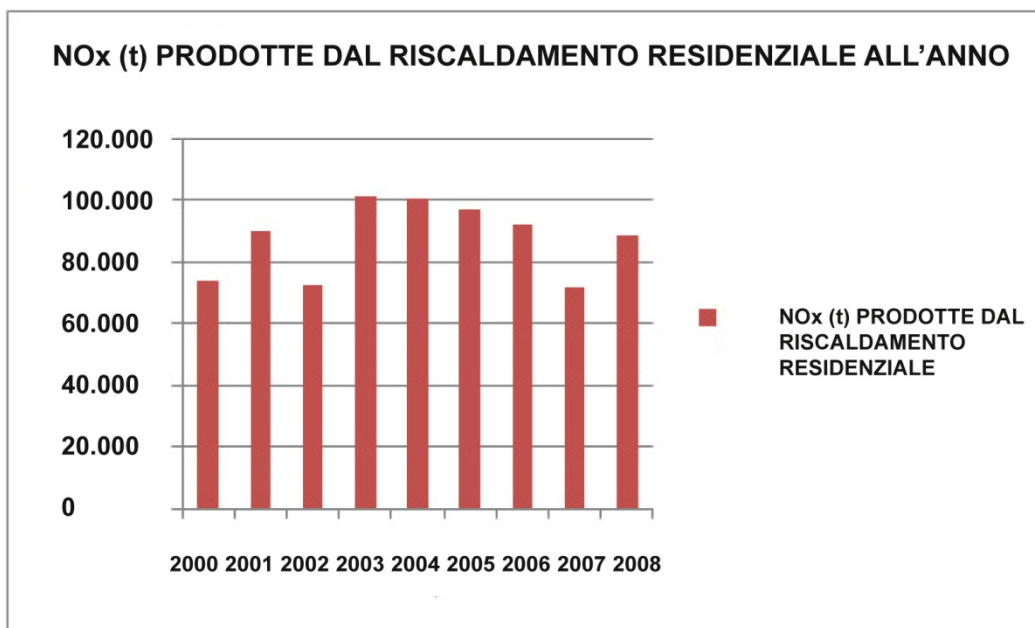


Figura 55. Produzioni di NOx (t), comune di Perugia, (elaborazione dati Istat, 2010).

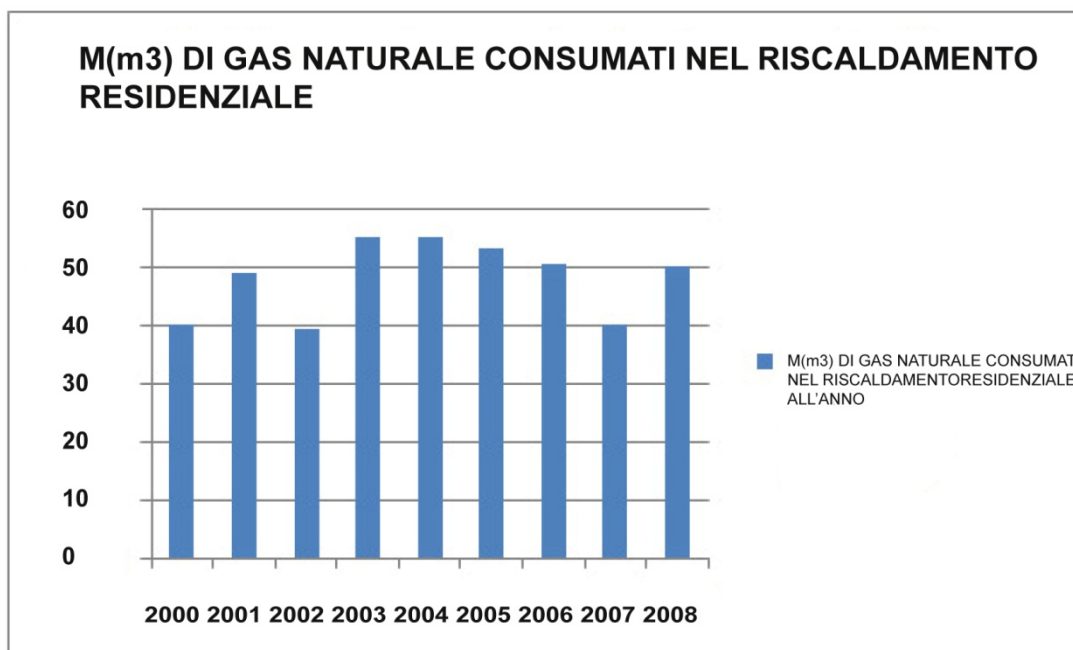


Figura 56. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Perugia, (elaborazione dati Istat, 2010).

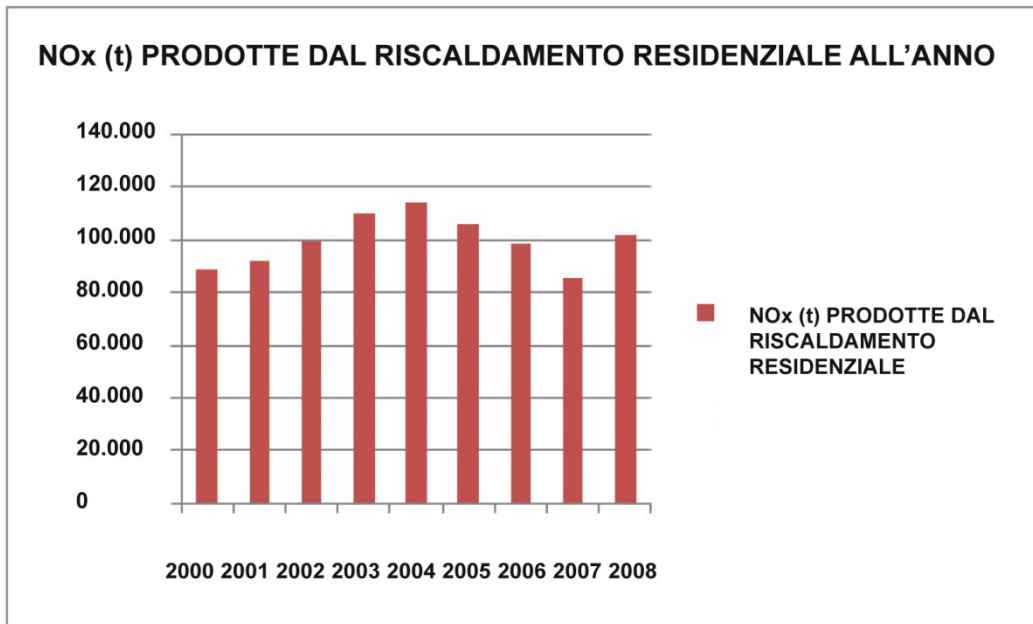


Figura 57. Produzioni di NOx (t), comune di Prato, (elaborazione dati Istat, 2010).

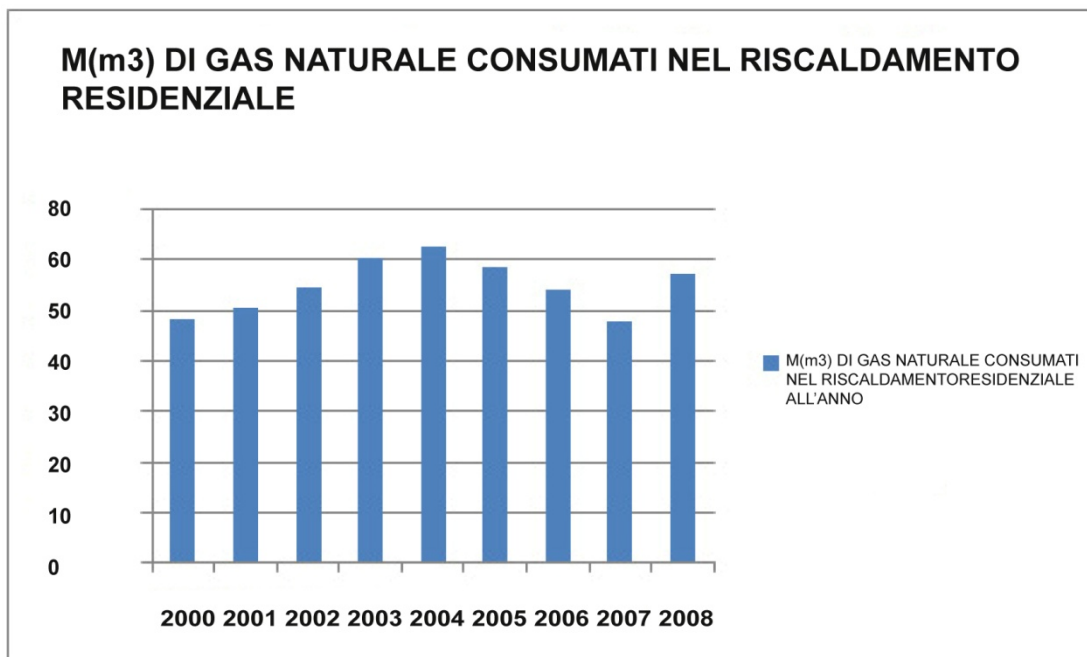


Figura 58. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Prato, (elaborazione dati Istat, 2010).

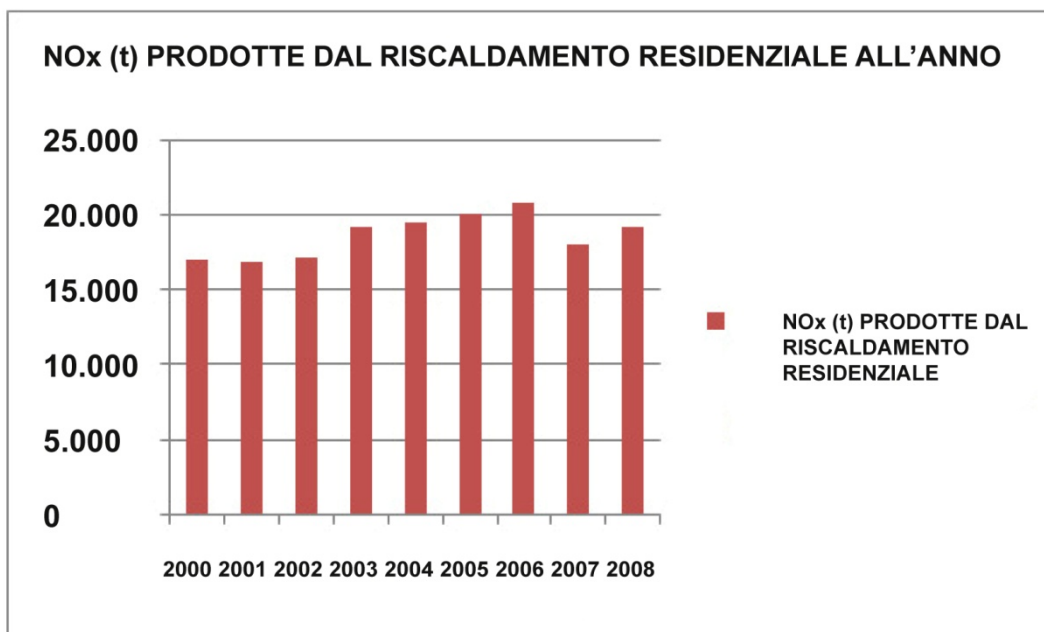


Figura 59. Produzioni di NOx (t), comune di Reggio Calabria, (elaborazione dati Istat, 2010).

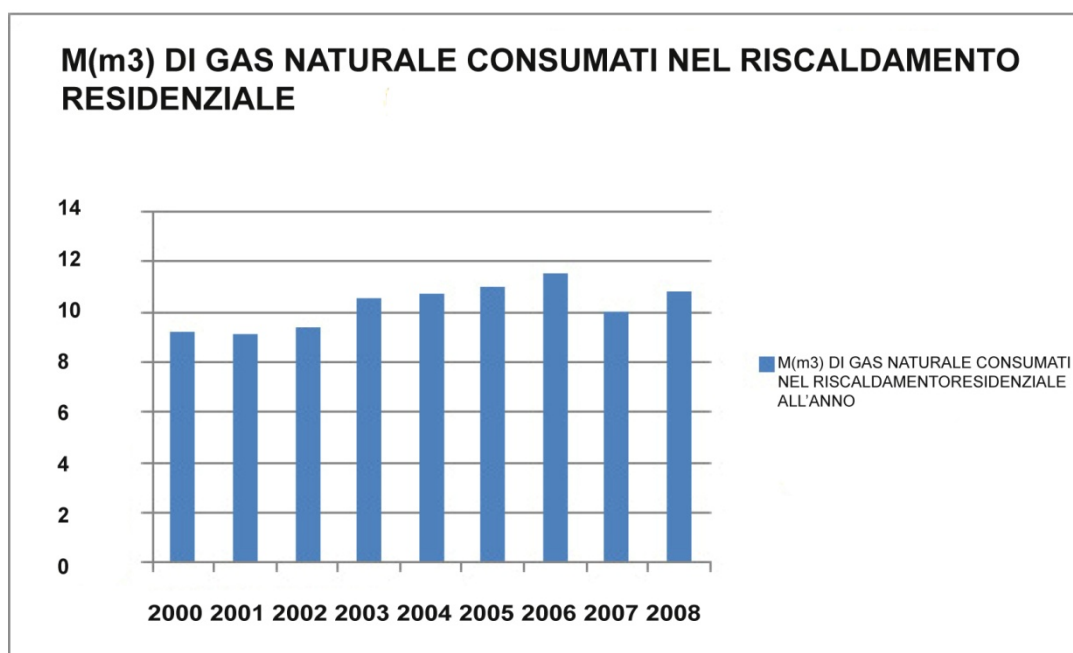


Figura 60. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Reggio Calabria, (elaborazione dati Istat, 2010).

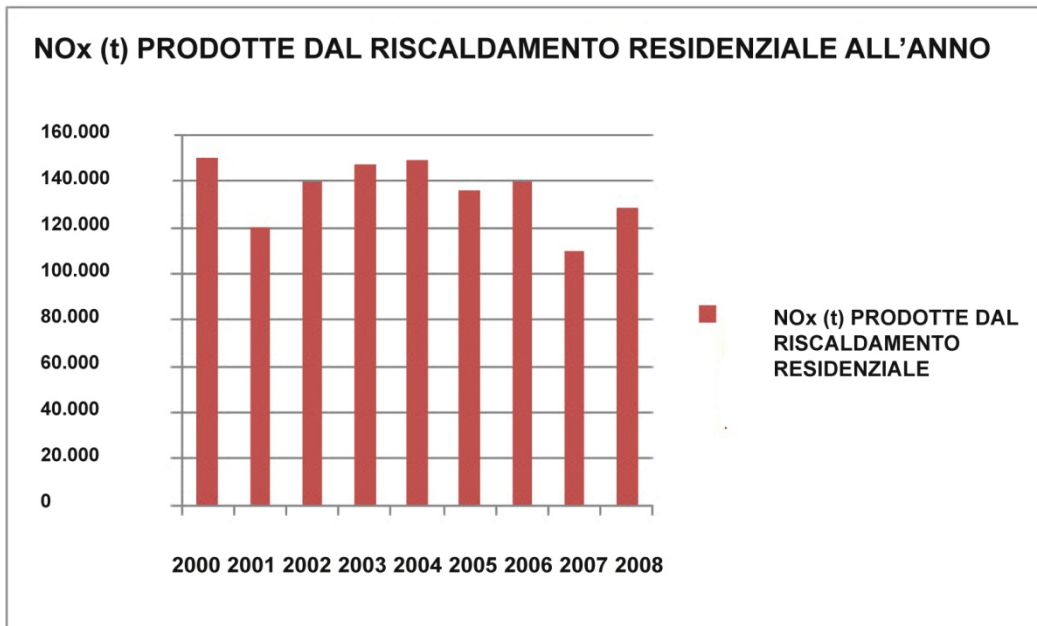


Figura 61. Produzioni di NOx (t), comune di Reggio Emilia, (elaborazione dati Istat, 2010).

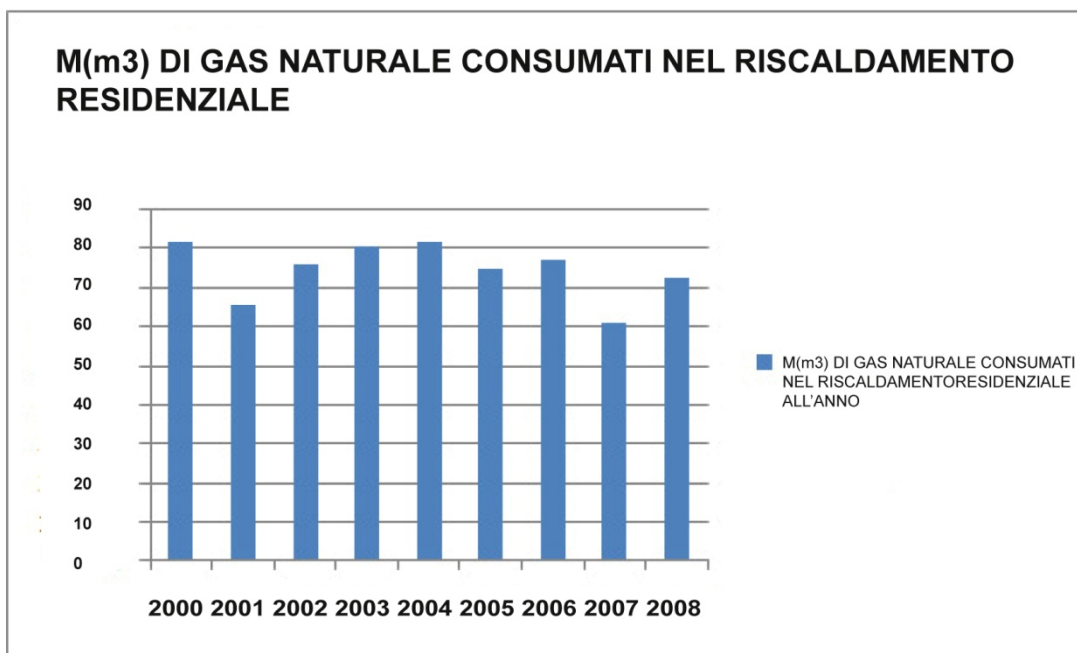


Figura 62. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Reggio Emilia, (elaborazione dati Istat, 2010).



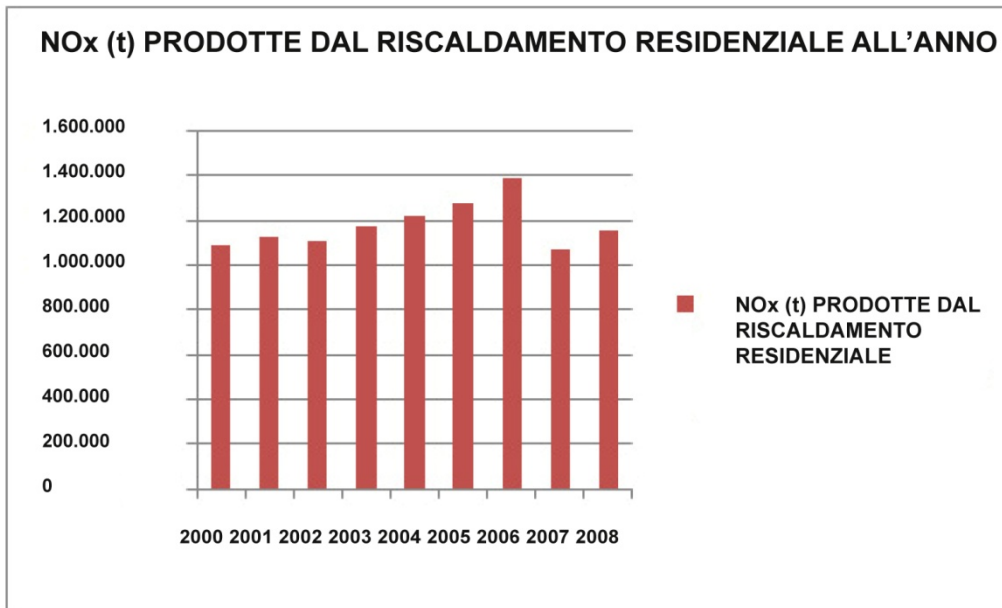


Figura 63. Produzioni di NOx (t), comune di Roma, (elaborazione dati Istat, 2010).

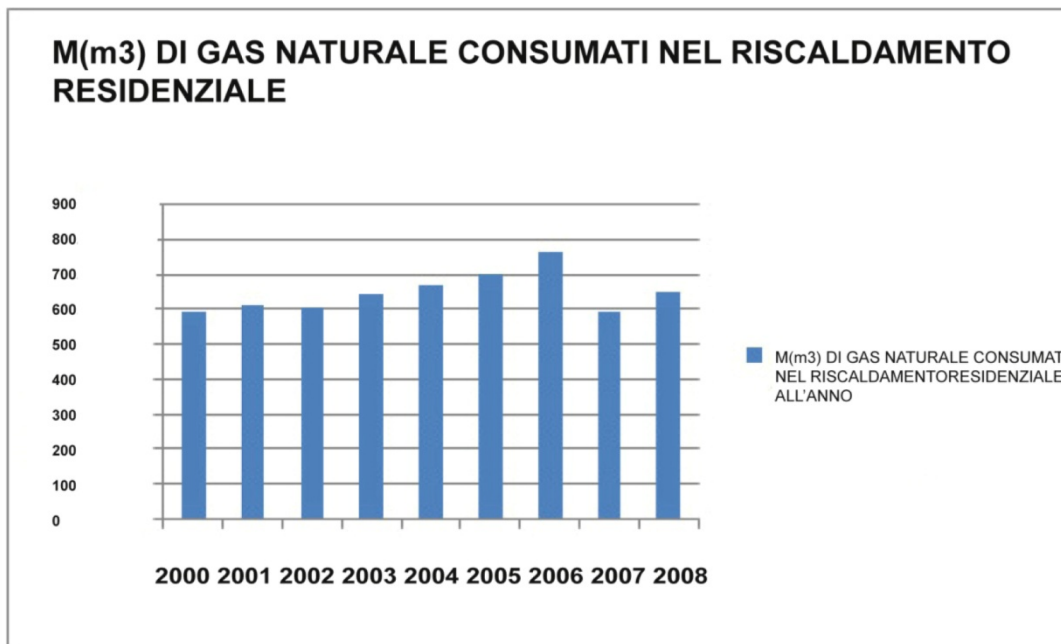


Figura 64. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Roma, (elaborazione dati Istat, 2010).

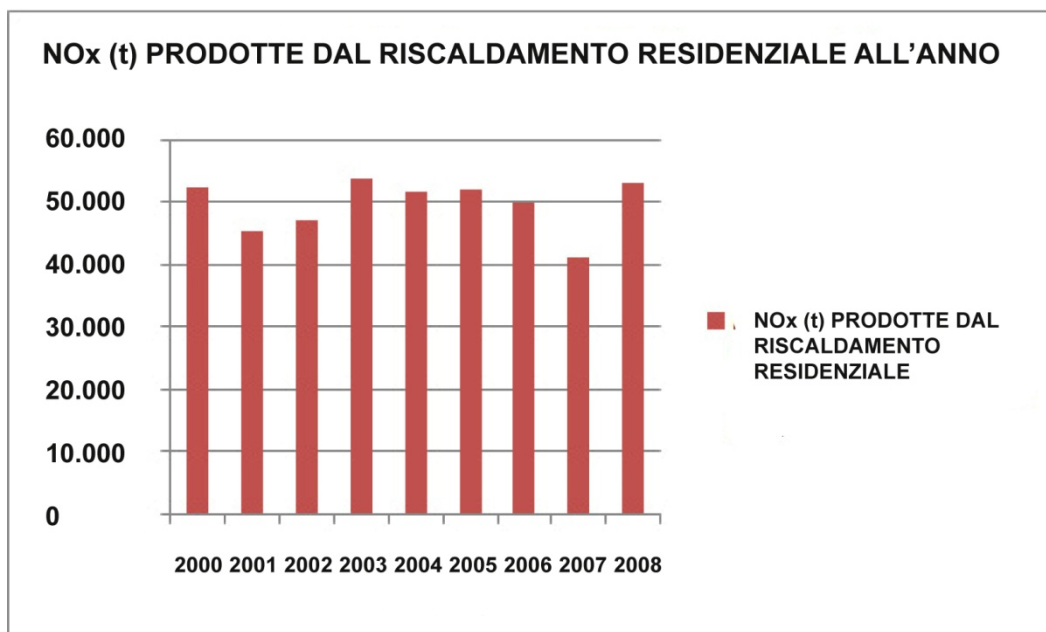


Figura 65. Produzioni di NOx (t), comune di Taranto, (elaborazione dati Istat, 2010).

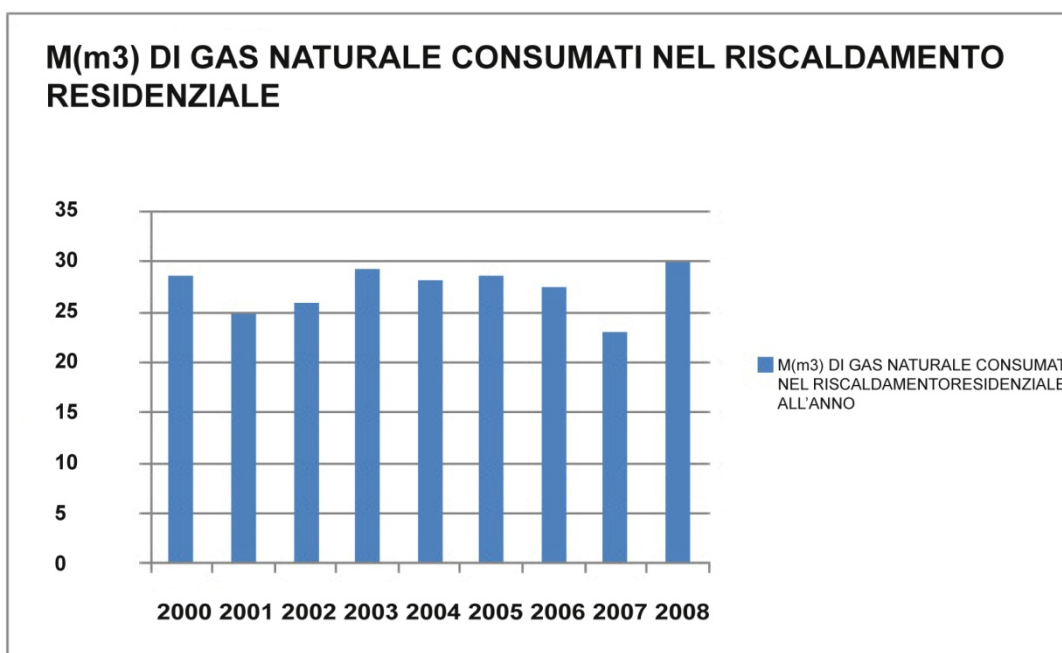


Figura 66. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Taranto, (elaborazione dati Istat, 2010).

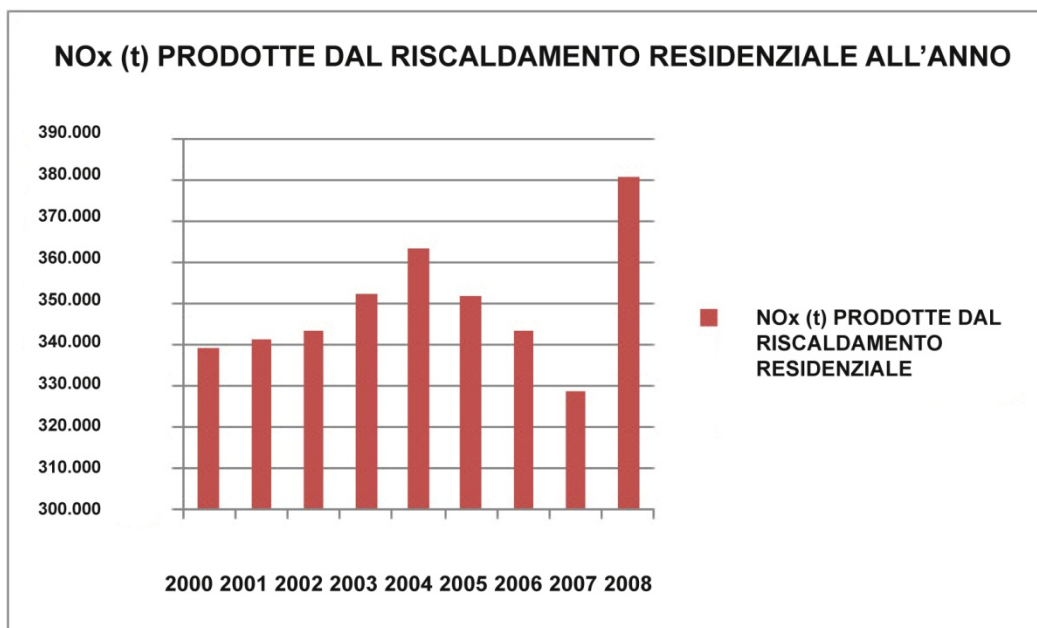


Figura 67. Produzioni di NOx (t), comune di Torino, (elaborazione dati Istat, 2010).

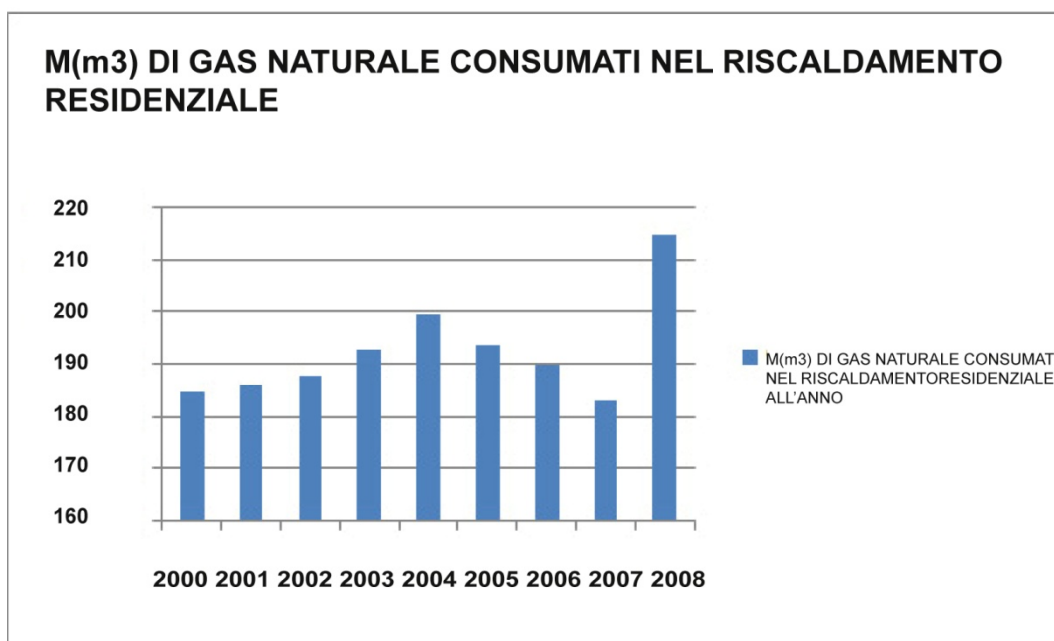


Figura 68. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Torino, (elaborazione dati Istat, 2010).

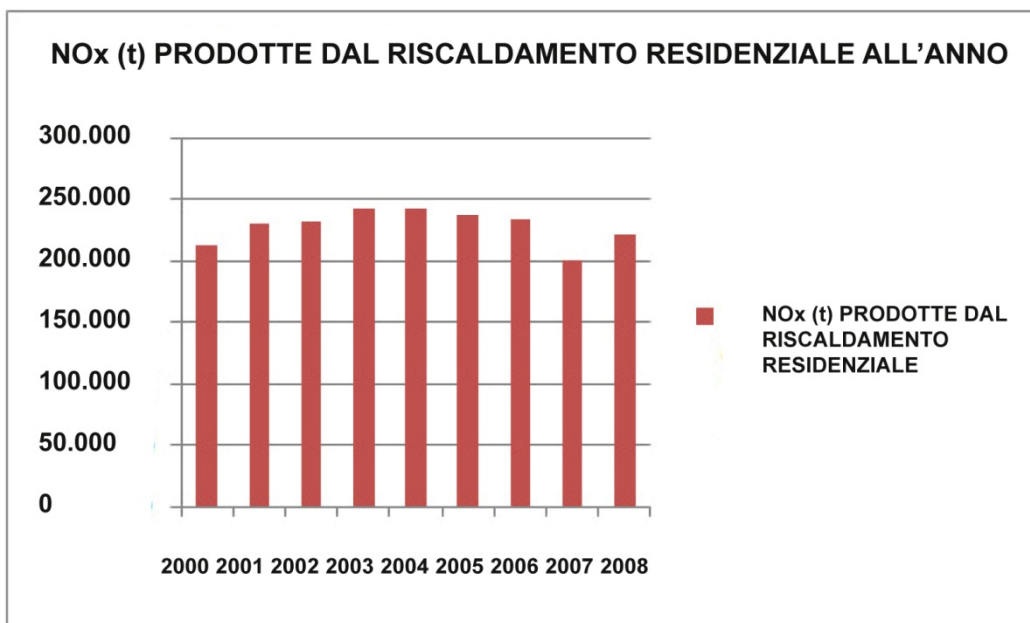


Figura 69. Produzioni di NOx (t), comune di Venezia, (elaborazione dati Istat, 2010).

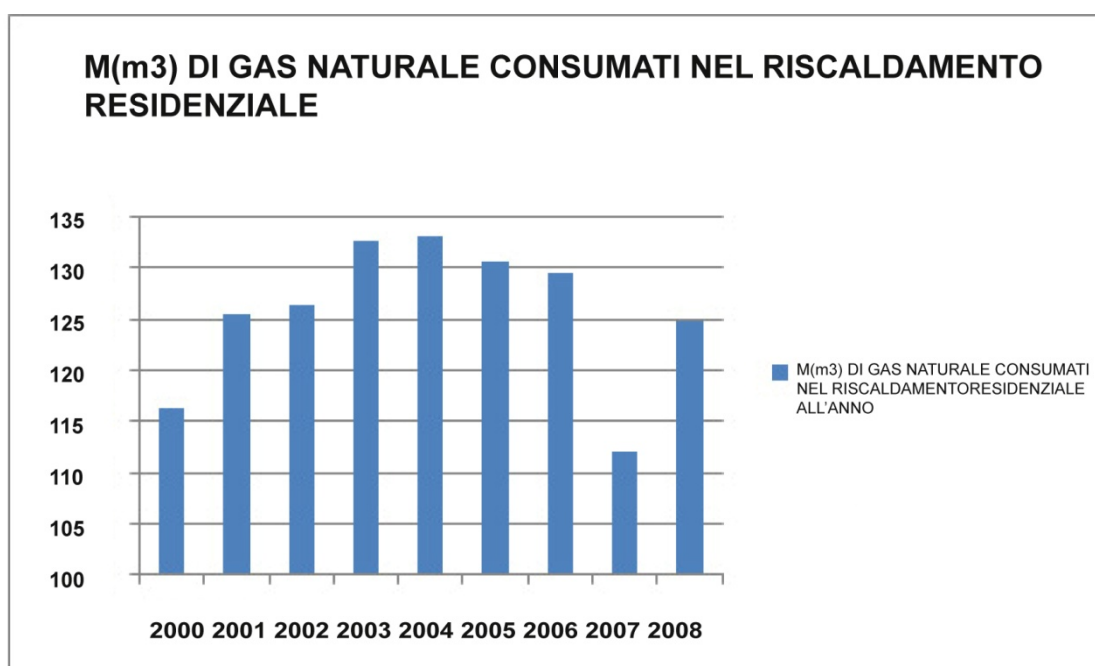


Figura 70. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Venezia, (elaborazione dati Istat, 2010).

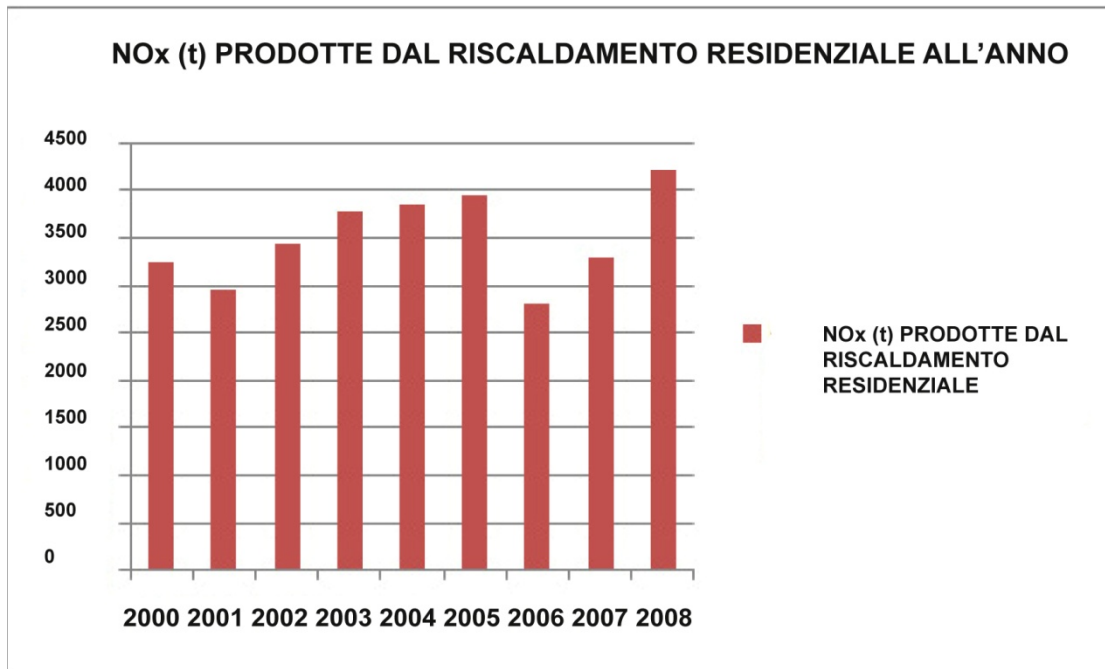


Figura 71. Produzioni di NOx (t), comune di Verona, (elaborazione dati Istat, 2010).

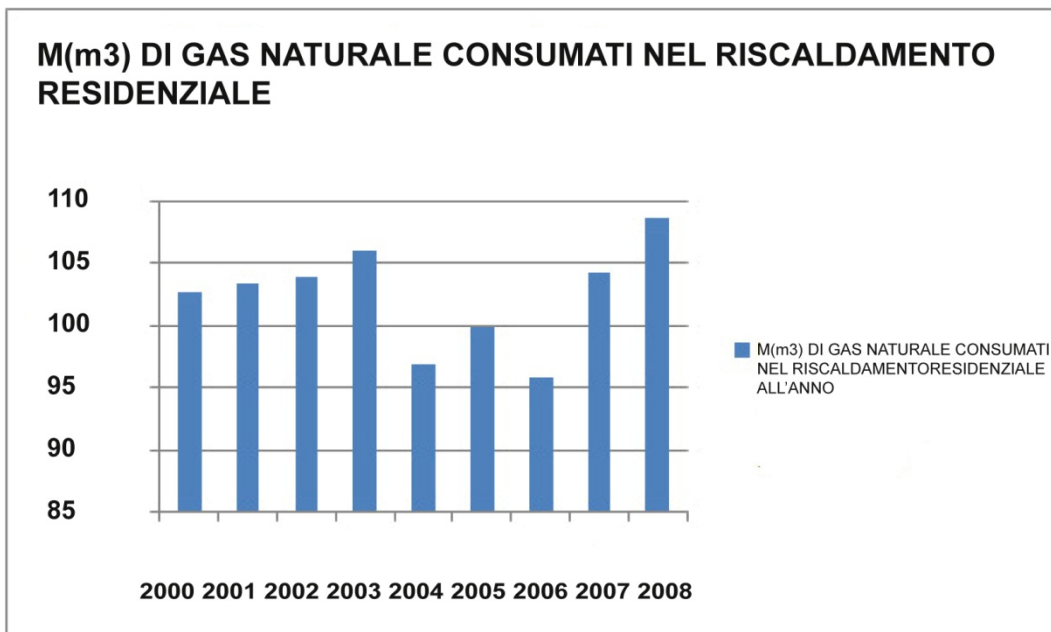


Figura 72. Consumi di gas naturale espressi in M(m<sup>3</sup>) annui nel riscaldamento residenziale, comune di Verona, (elaborazione dati Istat, 2010).

Nelle figure 73 e 74 vediamo la ripartizione dei consumi di gas naturale nel riscaldamento domestico e la relativa produzione di ossidi di azoto per il Centro, Sud e Nord della penisola.

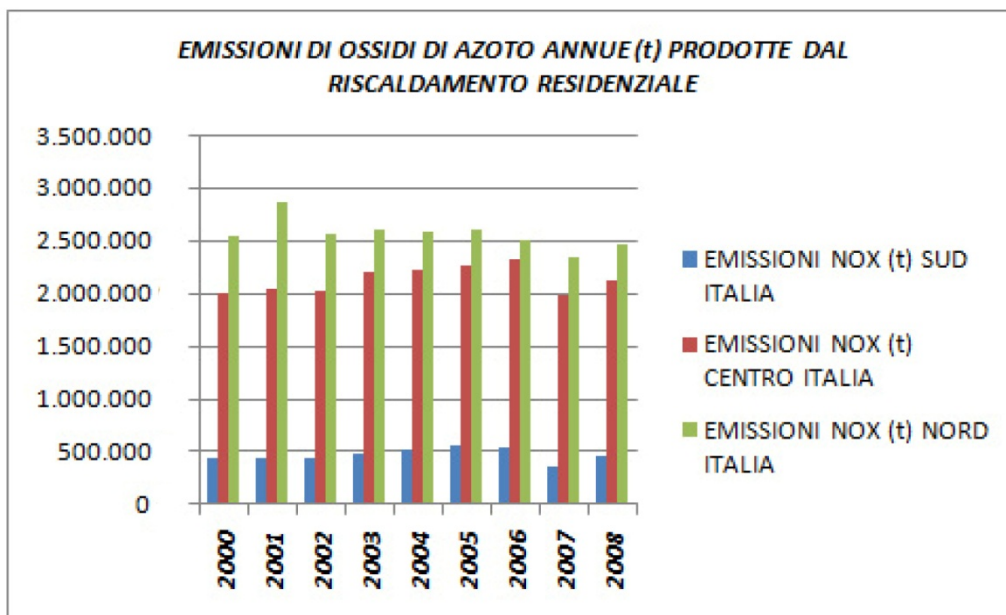


Figura 73. Emissioni NOx annue prodotte (t) nel Nord, Centro e Sud Italia, (elaborazione dati Istat, 2010).

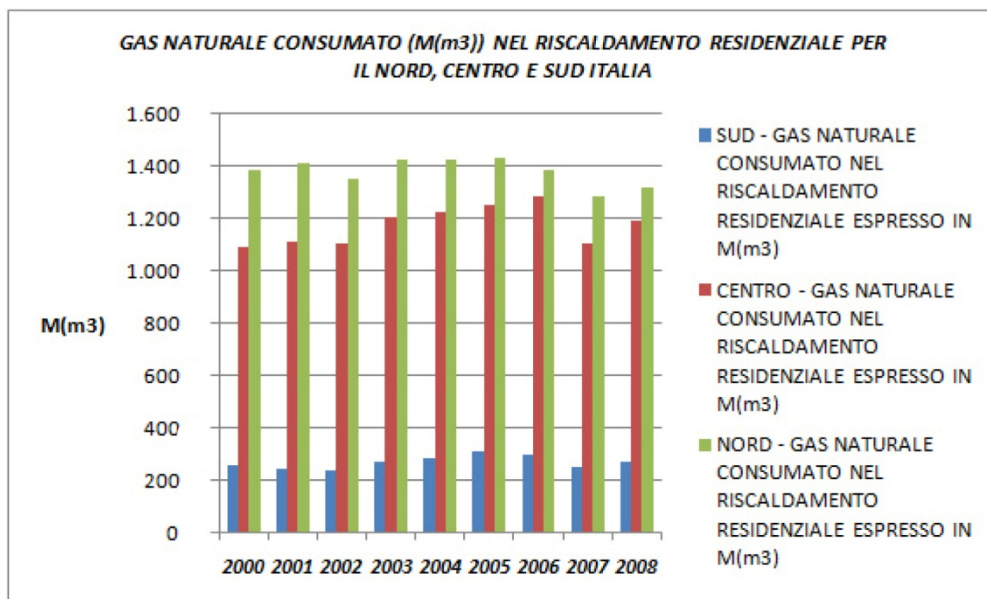


Figura 74. Consumi di gas naturale espressi in M(m³) annui nel riscaldamento residenziale, Nord, Centro e Sud Italia (elaborazione dati Istat, 2010).

Si può vedere come la maggior parte delle emissioni di NOx emesse dal riscaldamento residenziale sia prodotta nel Nord Italia.

Dai grafici si nota come la tendenza delle emissioni di NOx sia proporzionale a quella dei consumi di gas. Risulta che la quantità (M(m³)) di gas naturale consumato sia più influente rispetto alla qualità della tipologia

impiantistica installata che dal 2000 al 2008 ha visto crescere la presenza degli apparecchi ad alta efficienza. Gli ossidi di azoto infatti seguono la curva disegnata dai consumi di gas naturale. Prendiamo ad esempio il caso del 2004 e 2005. Nel 2004 poiché i consumi di gas hanno avuto un aumento dovuto ad un inverno particolarmente rigido, le emissioni hanno subito un picco di produzione. Nel 2005 invece succede il contrario; al diminuire del consumo di gas si è verificata proporzionalmente una diminuzione di produzione di ossidi di azoto.

Ne risulta che la migliore qualità degli impianti installati (caldaie a condensazione ed “altre High-Tech”) non riesce a ridurre la produzione di emissioni di ossidi di azoto in quantità tale da controbilanciare l’ingente consumo di gas; il numero di installazioni di apparecchi efficienti andato crescendo soprattutto negli ultimi anni non è stato sufficiente a ridurre gli ossidi di azoto. Per notare una differenza servirebbe che la percentuale di questi apparecchi a condensazione e ad alta efficienza in generale, aumentasse numericamente sul parco installato.

Considerando che all’aumentare dei consumi di gas aumentano le emissioni, si potrebbe dire che la maggior concentrazione degli impianti presi in considerazione si trovi proprio nella parte settentrionale.

Si presume che probabilmente anche la maggior parte di apparecchi a basso impatto ambientale ed alta efficienza si trovi in questa parte della penisola.

Tale considerazione risulta confermata valutando a scala regionale, il livello di partecipazione degli utenti alla campagna condotta dalla Finanziaria 2007 per la riqualificazione energetica, dove è più che netto il dato circa la disomogeneità territoriale.<sup>82</sup> Il Nord è sempre predominante e da ciascuna delle regioni più attive (Lombardia, Veneto, Emilia Romagna e Piemonte) è stato inviato oltre il 10% delle domande mentre le regioni del Sud rimangono sempre sotto il 5%. In valori assoluti, la Lombardia è la regione con la più alta percentuale di partecipazione pari al 19%, seguita dal Veneto (16%), Emilia Romagna (11%) e Piemonte (10%), mentre Calabria, Sicilia, Campania e Puglia sono le regioni – con una popolazione residente superiore a 1 milione di abitanti – con una partecipazione che si attesta intorno all’1-2%.

La caratterizzazione territoriale disomogenea non presenta apprezzabili connessioni fra le quantità di emissioni e la densità abitativa (la Campania, ha una popolazione residente di circa 5.702.000 abitanti e il Veneto registra circa 4.528.000 abitanti) ma, tra i vari fattori di influenza, probabilmente può essere letta in relazione anche alla distribuzione differenziata del reddito sul territorio nazionale.

---

<sup>82</sup> ENEA, 2009. *Rapporto Finale* sulla Detrazione Fiscale del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2007 dettata dalla Legge Finanziaria 2007.

## **5. Conclusioni**

L'ingente consumo di risorse energetiche ed il conseguente impatto ambientale si accompagna agli interrogativi riguardo il miglioramento tecnologico più opportuno che dovrebbero essere intrapreso per il superamento di tale problematica.

Nel settore residenziale, risulta chiaro che l'obiettivo sia quello di migliorare il comportamento complessivo dei sistemi impianto/edificio individuando i consumi energetici e il conseguente inquinamento ambientale.

A seguito di questa considerazione, con il presente elaborato di tesi si è voluto analizzare il comportamento degli apparecchi di combustione nel riscaldamento domestico nazionale, in relazione alle emissioni prodotte, circoscrivendo l'area di ricerca alla valutazione degli ossidi di azoto in quanto essi, nella loro forma di biossido di azoto, sono altamente nocivi e difficilmente controllabili.

È stata ricostruita l'evoluzione del parco impiantistico residenziale nazionale dal 1999 al 2008 al fine di inquadrare il rapporto che intercorre tra combustione, generatori di calore, edifici ed impatto ambientale e, in secondo luogo, per individuare il tasso di rinnovamento annuale degli impianti installati, identificando il numero di quelli da sostituire e di quelli da installare in nuove abitazioni costruite.

Ne è emerso innanzitutto che recentemente si è sviluppato a livello nazionale un processo di metanizzazione tra le caldaie per riscaldamento domestico che precedentemente erano alimentate soprattutto a gasolio.

Nel 2008 il monopolio del mercato delle caldaie per uso domestico è risultato essere ancora controllato dalla tipologia tradizionale, contro il 5% dalla tipologia a condensazione e il 3% dalle altre tipologie ad alta efficienza energetica.

Oggetto di interesse della presente ricerca è stato quello di capire quale è stato l'effetto delle tecnologie ad alta efficienza per riscaldamento residenziale sul mercato caldaie nazionale in termini di emissioni di ossidi di azoto.

Sono state quindi calcolate le tonnellate di NO<sub>x</sub> prodotte annualmente, a scala comunale e a scala nazionale con attenzione al Nord, al Centro e al Sud della penisola.

Ne è risultato che le emissioni di ossidi di azoto sono proporzionali ai consumi di gas naturale e che finora, le tecnologie ad alta efficienza presenti sul parco impianti nazionale relativamente al riscaldamento residenziale non sono risultate essere sufficienti per contrastare l'aumento di tali emissioni. Oltre quindi alla necessità di una maggiore penetrazione di tali tecnologie, vi sono ulteriori sistemi per rinnovare il patrimonio energetico dell'edilizia esistente e nuova.

Altri interventi ritenuti importanti per il contenimento energetico degli edifici e la riduzione delle emissioni sono, l'installazione di valvole termostatiche (art.1 comma 347, Finanziaria 2007) attraverso cui è permesso



automaticamente l'afflusso di acqua calda in base alla temperatura ambiente scelta e imposta su un'apposita manopola graduata<sup>83</sup>.

Ancora, i sistemi di contabilizzazione del calore. Tali sistemi possono essere installati senza opere murarie su tutti le tipologie di impianto, su edifici nuovi o già esistenti.

La corretta installazione e un corretto dimensionamento dei radiatori fa parte di quegli interventi sugli impianti in grado di portare ad un elevato risparmio nei costi di gestione.

Dunque con l'installazione di generatori ad alto rendimento (condensazione), introduzione di generatori di grande potenza (fino a 1 MW e più) realizzati con sistemi modulari a condensazione destinati a palazzine e appartamenti muniti di moduli di zona e contatori individuali, nuova generazione di bruciatori, integrazione con sistemi che utilizzano energie alternative e, inoltre, la valutazione delle potenzialità di penetrazione del sistema CHP Combined Heat and Power/DHC District Heating and Cooling Systems (ovvero un assetto che permette sia il teleriscaldamento che il teleraffrescamento) a livello nazionale, si potrà migliorare la situazione del riscaldamento civile che, nonostante si sia evoluta gradualmente nel tempo verso una condizione di minore impatto ambientale, continua a costituire, a livello locale e nella stagione invernale, una significativa fonte di inquinamento.

Abbiamo visto che in Italia il settore residenziale assorbe più del 30% dei consumi totali. Entrando nel dettaglio del residenziale, il riscaldamento è la principale causa di consumo ( più del 70%)<sup>84</sup>.

L'Italia ha un patrimonio edilizio dalle prestazioni energetiche scadenti, agli ultimi posti nelle graduatorie europee. Questa situazione si riflette nelle alte spese di climatizzazione per gli inquilini, nelle importazioni di gas e nell'alto livello delle emissioni di inquinanti.

Ridurre significativamente il consumo energetico e dunque l'impatto ambientale del nostro patrimonio edilizio esistente è una grande opportunità per un futuro sostenibile. Bisogna pensare che solo il 2% degli edifici sono nuovi mentre il restante è esistente<sup>85</sup>.

Possiamo dunque avere un impatto concreto in termini di energia e futuro ambientale solo se la nostra tecnologia e i nostri programmi di studio si focalizzeranno su questo obiettivo: rinnovare il patrimonio esistente. Al fine di tenere sotto controllo questo aspetto risulta necessario quindi sviluppare ricerche integrate, adatte e rivolte specificatamente a promuovere l'efficienza energetica in questi edifici.

In tale contesto si inserisce il presente lavoro di tesi con lo scopo di contribuire all'analisi della problematica energetica ed ambientale relativa al patrimonio edilizio nazionale. Tale studio offre una ricerca atta a

---

<sup>83</sup> Il comma 347 della Finanziaria 2007 ( legge n. 296 del 27 dicembre del 2006) è relativo alla sostituzione di impianti di climatizzazione invernale, intendendosi con questa dizione la sostituzione, totale o parziale, di impianti di riscaldamento con impianti dotati di caldaia a condensazione. E' inoltre agevolata la trasformazione di impianti autonomi in un solo impianto centralizzato – sempre con caldaia a condensazione – con contabilizzazione del calore.

<sup>84</sup> Fonte ENEA

<sup>85</sup> Fonte AiCARR

valutare e migliorare l'effetto potenziale delle misure legislative volte a favorire la riqualificazione energetica fornendo informazioni tecniche sulle tipologie impiantistiche diffuse, sulla distribuzione dei consumi e sulle emissioni prodotte.

