

QUADERNI PER LA PROGETTAZIONE

---

# L'ABILITAZIONE ALLA CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI

Guida per l'ottenimento del patentino  
completa di quesiti d'esame

di  
MAURIZIO MAGRI

# INDICE GENERALE

Premessa .....	7
----------------	---

---

## CAPITOLO 1

ELEMENTI DI TERMOTECNICA.....	13
1.1 Unità di misura .....	13
1.2 La pressione .....	18
1.3 Temperatura e calore.....	20
1.4 Calore specifico e dilatazione termica .....	26
1.5 Cambiamenti di stato.....	32
1.6 Il vapore d'acqua.....	35
1.7 Trasmissione del calore .....	38

---

## CAPITOLO 2

LA COMBUSTIONE .....	41
2.1 I combustibili .....	41
2.2 Poteri calorifici .....	45
2.3 Altre proprietà dei combustibili .....	48
2.4 Le reazioni di combustione .....	50
2.5 L'eccesso d'aria .....	54
2.6 La fiamma .....	56
2.7 La combustione del metano .....	57



---

## CAPITOLO 3

TECNICHE DI RISCALDAMENTO DELL'ACQUA .....	59
3.1 Le caldaie.....	59
3.2 Griglie e bruciatori .....	73

---

## CAPITOLO 4

CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE DEGLI IMPIANTI TERMICI .....	87
4.1 Tipi di impianto .....	87
4.2 Il camino .....	98

---

## CAPITOLO 5

DISPOSITIVI DI CONTROLLO E SICUREZZA.....	115
5.1 La raccolta R.....	115
5.2 I dispositivi di sicurezza .....	126
5.3 I dispositivi di protezione.....	131
5.4 I dispositivi di controllo.....	135
5.5 Altri dispositivi di centrale .....	137
5.6 Dispositivi per impianti con generatori alimentati con combustibili solidi non polverizzati .....	146

---

## CAPITOLO 6

TECNICHE DI REGOLAZIONE DELL'IMPIANTO .....	153
6.1 Terminali di riscaldamento.....	153

6.2	L'aria negli impianti.....	159
6.3	La circolazione dell'acqua.....	162
6.4	Le regolazioni di centrale.....	175
6.5	Le regolazioni di zona.....	178

---

## CAPITOLO 7

	TECNICHE DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI INQUINANTI....	185
7.1	Le emissioni nei fumi.....	185
7.2	Il controllo dell'acqua di alimento.....	198

---

## CAPITOLO 8

	TECNICHE DI ANALISI DEL CONSUMO ENERGETICO.....	207
8.1	Il rendimento e le perdite.....	207
8.2	Il rendimento di combustione.....	210
8.3	Il controllo della combustione.....	217

---

## CAPITOLO 9

	NORMATIVA DI SETTORE.....	221
9.1	Le figure coinvolte negli impianti.....	221
9.2	L'esercizio degli impianti.....	225
9.3	Norme di prevenzione incendi.....	229
9.4	Sicurezza elettrica.....	242
9.5	Riepilogo delle norme.....	252



---

## CAPITOLO 10

ELEMENTI DI MANUTENZIONE IMPIANTI TERMICI ..... 267

10.1 Le operazioni di conduzione ..... 267

10.2 Le operazioni di manutenzione..... 274

10.3 Il rapporto di controllo di efficienza energetica ..... 291

---

QUESITI D'ESAME ..... 301

# PREMESSA

L'abilitazione alla conduzione degli impianti termici nasce storicamente con la L. n. 615/1966 "Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico", che, all'art. 16, introduceva la necessità per il personale addetto alla conduzione di impianti termici, alimentati con combustibili minerali solidi o liquidi di potenzialità superiore a 200.000 kcal/h, di dotarsi di **apposito patentino** rilasciato dall'Ispettorato del Lavoro al termine di uno specifico corso professionale e previo superamento di un esame finale. In ogni Provincia veniva istituito presso l'Ispettorato Provinciale del Lavoro un registro degli abilitati alla conduzione, di cui copia era tenuta anche presso il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco. Al conduttore di impianti termici privo di abilitazione era comminata una ammenda, così come poteva essere revocato il patentino di abilitazione nel caso in cui il conduttore, recidivo, era causa di emissione di fumi aventi contenuti di materie inquinanti superiori alla legge. Il D.M. 12 agosto 1968 "Disciplina dei corsi per il conseguimento del patentino di abilitazione alla conduzione di impianti termici", emanato ai sensi della L. n. 615/1966 disciplinava i contenuti del corso, nonché gli esami finali, prevedendo che il programma didattico fosse composto da 75 ore di insegnamento ripartite sulle seguenti materie:

- Richiami sulle nozioni elementari di peso, misura, volume e peso specifico;
- Nozioni di calore, temperatura, calorie e calore specifico, termometri;
- Produzione del vapore - vapore saturo - vapore umido;
- Nozioni di forza e pressioni;
- Manometri e barometri;
- Nozioni sui combustibili: combustibile - fenomeno della combustione - la funzione dell'aria - accensione del fuoco - condotta del fuoco - funzione del camino - produzione di fuliggine e nerofumo - spegnimento del fuoco;
- Cenni sui bruciatori e sulle griglie;
- Cenni sulle caldaie;
- Accessori: apparecchi di sicurezza - valvole di vario tipo - indicatori di livello - termostati - pressostati - applicazione dei termometri e dei manometri alle caldaie.



Il D.P.R. n. 1391/1970 "Regolamento per l'esecuzione della legge 13 luglio 1966, n. 615, recante provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico, limitatamente al settore degli impianti termici" all'art. 2 prevedeva due tipi di patentini di abilitazione, a seconda del tipo di impianto, da rilasciarsi a persone aventi età non inferiore a 18 anni compiuti. Gli impianti termici per il cui mantenimento in funzione occorreva anche il certificato di abilitazione alla condotta dei generatori di vapore (rilasciato ai sensi del D.M. 1 marzo 1974) erano attribuiti alla prima categoria e la loro conduzione richiedeva il possesso del patentino di 1° grado. Ad esempio gli impianti ad acqua surriscaldata (che come ricordato dalla Circolare n. 191/1972 del Ministero del Lavoro necessitano di patente "a vapore") rientrano in tale categoria di impianti. Gli altri impianti termici, automatici e non automatici, per il cui mantenimento in funzione non occorreva il certificato di abilitazione alla condotta dei generatori di vapore, erano attribuiti alla seconda categoria e la loro conduzione richiedeva il possesso del patentino di 2° grado. Il patentino di 1° grado abilitava direttamente alla conduzione degli impianti per cui era richiesto il patentino di 2° grado. I certificati di abilitazione di qualsiasi grado per la condotta dei generatori di vapore erano titolo di qualificazione professionale valido per il rilascio, senza esame, dei patentini di 1° o di 2° grado. Veniva chiarito che l'eventuale provvedimento di sospensione o di revoca del certificato di abilitazione alla condotta dei generatori di vapore non comportava automatica decadenza del patentino di abilitazione alla condotta degli impianti termici e che, ai fini dell'eventuale revoca dei patentini di abilitazione, il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco comunicava al competente Ispettorato Provinciale del lavoro i casi di recidiva alla cattiva conduzione degli impianti termici. Il medesimo Regolamento conteneva i requisiti tecnici e costruttivi di cui dovevano essere dotati gli impianti termici, le norme per il controllo dei fumi emessi dagli impianti termici per i limiti delle emissioni e le caratteristiche dei combustibili.

Successivamente il D.Lgs. n. 112/1998 "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59", con l'art. 84 conferiva la competenza, in precedenza in capo all'Ispettorato Provinciale del Lavoro, del rilascio dei patentini alle Regioni e agli Enti Locali, ma la norma è stata generalmente disattesa non trovando attuazione e le competenze al rilascio, nella maggioranza delle Regioni, non sono mai state realmente trasferite ed esercitate, tanto che, con l'entrata in vigore del D.Lgs. n. 152/2006 "Norme in materia ambientale", all'art. 287, veniva di nuovo indicato l'Ispettorato del Lavoro, nel frattempo diventato Direzione Provinciale del Lavoro, quale autorità competente all'abilitazione dei conduttori di impianti termici. Veniva però estesa la



**necessità, per il personale addetto alla conduzione degli impianti termici civili di potenza termica nominale superiore a 232 KW, di munirsi del patentino di abilitazione per tutti gli impianti termici, a prescindere dal tipo di combustibile utilizzato (solido, liquido o gassoso).** Erano riconfermate le altre regole stabilite D.M. 12 agosto 1968 e dal D.P.R. n. 1391/1970.

A questo punto però alcune Regioni, più sensibili in materia, sollevavano questione di legittimità costituzionale della norma e la Corte Costituzionale, con Sentenza n. 250/2009, dava loro ragione, statuendo che la materia non era più di competenza dello Stato e il rilascio del patentino spettava all'autorità regionale individuata dalle Regioni.

Si è così giunti, con i correttivi al D.Lgs. n. 152/2006 introdotti dal D.Lgs. n. 128/2010, all'attuale situazione normativa che prevede che siano con legge regionale **le Regioni ad individuare le autorità competenti al rilascio del patentino di conduzione agli impianti termici**, oltre che a dettare le modalità di formazione, compilazione, tenuta e aggiornamento del registro degli abilitati. Il registro degli abilitati alla conduzione degli impianti termici è tenuto presso l'autorità che rilascia il patentino o presso la diversa autorità indicata dalla legge regionale e, in copia, presso l'autorità competente e presso il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco. L'art. 287, nel testo rinnovellato, riconferma che i patentini possono essere rilasciati a persone aventi età non inferiore a diciotto anni compiuti, in possesso di licenza media, e che sono previsti due gradi di abilitazione (di primo grado per gli impianti il cui mantenimento in funzione necessita del certificato di abilitazione alla condotta dei generatori di vapore, di secondo grado per gli altri impianti). Il patentino di primo grado abilita anche alla conduzione degli impianti per cui è richiesto il patentino di secondo grado e il possesso di un certificato di abilitazione di qualsiasi grado per la condotta dei generatori di vapore consente, ove previsto dalla legge regionale, il rilascio del patentino senza necessità dell'esame finale di abilitazione. **Il patentino può essere in qualsiasi momento revocato in caso di irregolare conduzione dell'impianto da parte del conduttore.**

Chi effettua la conduzione di un impianto termico civile di potenza termica nominale superiore a 232 kW senza essere munito del patentino per l'abilitazione alla conduzione degli impianti termici è punito **con una sanzione amministrativa pecuniaria da quindici euro a quarantasei euro**, alla cui irrogazione provvede l'autorità indicata dalla legge regionale. I patentini, di 1° e 2° grado, non necessitano di essere rinnovati, in quanto la loro validità cessa contemporaneamente al termine della vita lavorativa del conduttore patentato.



Fino all'entrata in vigore delle disposizioni regionali, la disciplina dei corsi e degli esami resta quella individuata dal D.M. 12 agosto 1968 "Disciplina dei corsi per il conseguimento del patentino di abilitazione alla conduzione di impianti termici".

Ad oggi solo poche Regioni hanno legiferato in materia, ma comunque il 25 maggio 2011 la Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome ha emanato le "Linee guida delle Regioni per i percorsi abilitanti all'esercizio dell'attività di conduttore impianti termici", nel quale viene definito lo standard formativo del conduttore di impianti termici.

I corsi di formazione sono erogati dalle Regioni e Province Autonome di Trento e Bolzano direttamente o attraverso soggetti accreditati, in conformità al modello definito ai sensi dell'Accordo Stato-Regioni e Province Autonome del 20/03/2008, o attraverso soggetti specificamente autorizzati in base alle disposizioni adottate da ciascuna Regione e Provincia Autonoma.

Il nuovo programma di studio, articolato in 90 ore, salvo il riconoscimento di crediti formativi, consente un massimo di assenze pari al 20% del monte ore complessivo. Prevede la trattazione dei seguenti argomenti:

- Elementi di termotecnica;
- La combustione;
- Tecniche di riscaldamento dell'acqua;
- Caratteristiche e tipologie degli impianti termici;
- Dispositivi di controllo e sicurezza;
- Tecniche di regolazione dell'impianto;
- Tecniche di controllo delle emissioni inquinanti;
- Tecniche di analisi del consumo energetico;
- Normativa di settore;
- Elementi di manutenzione impianti termici.

Al fine dell'ammissione al corso di formazione le Linee Guida ribadiscono che sono necessari i requisiti di età non inferiore ai 18 anni e di possesso del diploma di scuola secondaria di 1° grado.

Per quanto riguarda coloro che hanno conseguito un titolo di studio all'estero per poter frequentare il corso occorre presentare una dichiarazione di valore o un documento corrispondente che attesti l'equipollenza del livello di scolarizzazione.

Per gli stranieri è inoltre indispensabile una buona conoscenza della lingua ita-

liana orale e scritta, che consenta di partecipare attivamente al percorso formativo. Tale conoscenza deve essere verificata attraverso un test di ingresso da conservare agli atti dell'istituzione formativa.

Al termine del percorso è previsto il rilascio di un **attestato di frequenza con verifica dell'apprendimento**. La prova di verifica deve essere organizzata e gestita secondo principi di trasparenza e tracciabilità delle procedure. Il mancato superamento della prova di verifica finale non consente il rilascio dell'attestato. Al fine di favorire il riconoscimento e la libera circolazione delle persone sul territorio nazionale, l'attestato di frequenza deve contenere i seguenti elementi minimi comuni:

- Denominazione del soggetto formatore;
- Dati anagrafici del corsista;
- Titolo del corso e normativa di riferimento;
- Durata del corso;
- Firma del soggetto formatore.

L'attestazione rilasciata al termine del corso consente di acquisire il **patentino di abilitazione di 2° grado alla conduzione degli impianti termici** (ai sensi quindi dell'art. 287 del D.Lgs. 3 aprile 2006, n.152).

Le Regioni e Province Autonome di Trento e di Bolzano provvedono alla definizione della composizione delle commissioni d'esame e delle prove di esame nel rispetto della propria regolamentazione; inoltre si sono impegnate a riconoscere reciprocamente gli attestati di idoneità rilasciati, questo per evitare che un conduttore abilitato in una Regione non possa esercitare la medesima attività, ad esempio, in una Regione limitrofa.

In tabella 1 è riportata la ricognizione, a marzo 2014, delle autorità regionali delegate al rilascio del patentino; ove queste non siano ancora state individuate sovviene il potere sostitutivo dello Stato che lo esercita a mezzo dei servizi territoriali del Ministero del Lavoro.

Giova infatti ricordare che la Circolare del Ministero del Lavoro n. 4/2011 del 19 gennaio 2011, d'intesa con il Coordinamento Tecnico delle Regioni, ha chiarito che, nelle more del completamento delle legislazioni regionali, continueranno a essere rilasciati i patentini di abilitazione dalle Direzioni Provinciali del Lavoro (ora chiamate Direzioni Territoriali del Lavoro), in via transitoria e per continuità amministrativa, secondo quanto prevede il D.M. 12 agosto 1968 per i corsi e gli esami, fino al trasferimento effettivo della funzione.



**Tab. 1** - Correlazione fra misure di pressione

REGIONE	AUTORITÀ COMPETENTE AL RILASCIO
Valle d'Aosta	Direzione Territoriale del Lavoro
Piemonte	Provincia
Liguria	Provincia
Lombardia	Provincia
Veneto	Provincia
Friuli Venezia Giulia	Regione
Provincia di Trento	Provincia
Provincia di Bolzano	Provincia
Emilia-Romagna	Provincia
Toscana	Direzione Territoriale del Lavoro
Marche	Direzione Territoriale del Lavoro
Lazio	Direzione Territoriale del Lavoro
Umbria	Direzione Territoriale del Lavoro
Abruzzo	Direzione Territoriale del Lavoro
Molise	Direzione Territoriale del Lavoro
Campania	Direzione Territoriale del Lavoro
Puglia	Direzione Territoriale del Lavoro
Basilicata	Direzione Territoriale del Lavoro
Calabria	Direzione Territoriale del Lavoro
Sicilia	Direzione Territoriale del Lavoro
Sardegna	Direzione Territoriale del Lavoro

In definitiva, scopo del presente testo è di illustrare gli argomenti tecnici previsti dalle Linee Guida delle Regioni e delle Province Autonome, attraverso i vari capitoli che ricalcano il programma di studio, al fine di poter dare al candidato conduttore di impianti termici le nozioni per affrontare e superare positivamente l'esame finale, fornendo al contempo le ulteriori informazioni tecniche che il conduttore deve conoscere per affrontare al meglio l'attività professionale.

# TECNICHE DI ANALISI DEL CONSUMO ENERGETICO



**Sommario:** 8.1. Il rendimento e le perdite - 8.2. Il rendimento di combustione - 8.3. Il controllo della combustione

## 8.1 Il rendimento e le perdite

Per ridurre il consumo energetico dei generatori di calore, è necessario un accurato controllo dei parametri della combustione. Si è già definito il **rendimento**  $\eta$  come il rapporto fra l'energia (o la potenza) utilizzata e l'energia (o la potenza) spesa. Nel caso della combustione infatti non tutto il calore speso (cioè prodotto dalla combustione) può essere utilizzato (nell'acqua calda), ma una parte va perduta.

Potremo così scrivere:

$$\text{Calore speso} = \text{Calore utilizzato} + \text{Calore perduto}$$

Se riferito all'unità di tempo la relazione si scrive:

$$\text{Potenza spesa} = \text{Potenza utilizzata} + \text{Potenza perduta}$$

Il rendimento sarà quindi:

$$\eta = (\text{Calore utilizzato} / \text{Calore speso}) \times 100$$

oppure

$$\eta = (\text{Potenza utilizzata} / \text{Potenza spesa}) \times 100$$

Conoscere il rendimento è molto importante in quanto consente di poterlo confrontare con il rendimento garantito dal costruttore e con i parametri di rendimento previsti dalle norme.

Vediamo ora di capire meglio cosa significano i termini "calore speso", "calore utilizzato" e "calore perduto", che, se riferiti all'unità di tempo, danno vita alla

“potenza spesa”, alla “potenza utilizzata” e alla “potenza perduta”.

**Il Calore speso** (o la potenza spesa) è il calore (o la potenza) fornito con la combustione del combustibile e vale:

$$Cs = Pci \times m \quad \text{oppure} \quad Ps = Pci \times G$$

dove:

$Pci$  è il potere calorifico inferiore del combustibile (in kcal/kg o in kcal/Nm<sup>3</sup>),

$m$  la massa o il volume di combustibile (in kg o in Nm<sup>3</sup>) e  $G$  la portata in massa o in volume di combustibile bruciato (in kg/h o in Nm<sup>3</sup>/h). Si tenga presente che se si vuole passare dalle kcal ai kJ basta moltiplicare per 4,18 e dalle kcal/h ai kW dividere per 860.

**Il Calore utilizzato** (o la potenza utilizzata) è il calore (o la potenza) assorbito dall'acqua scaldata e vale:

$$Cu = c \times m \times dt \quad \text{oppure} \quad Pu = c \times Q \times dt$$

dove:

$c$  è la capacità termica media dell'acqua (kcal/kg °C),  $m$  la massa d'acqua scaldata (in kg),  $Q$  la portata in massa d'acqua scaldata (in kg/h) e  $dt$  il salto termico (in °C) fra la temperatura dell'acqua in entrata alla caldaia e in uscita alla caldaia.

**Il Calore perduto** (o la potenza perduta) è la parte di calore (o potenza) che non si utilizza per causa di diverse perdite. Tali perdite sono la somma delle perdite per calore latente, per calore sensibile, per irraggiamento e varie.

**Le Perdite per calore latente** sono dovute alla formazione di incombusti solidi e gassosi (fuliggine e ossido di carbonio). Questi pur restando dei combustibili vanno al camino senza fornire calore. Tali perdite per calore latente possono essere misurate determinando la percentuale di ossido di carbonio (CO) e di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) presente nei fumi, con la seguente formula:

$$Pcl = Kl \times CO\% / (CO_2\% + CO\%)$$

dove:

CO% e CO<sub>2</sub>% indicano le percentuali in volume di ossido di carbonio e di anidride carbonica nei fumi secchi,

$Kl$  indica una costante che dipende dal combustibile usato, i cui valori sono 50,5 per olio combustibile/gasolio e 37,9 per metano.

**Le Perdite per calore sensibile** sono l'energia termica persa con i fumi che vanno al camino, per effetto della loro temperatura. Tali perdite dipendono sia dalla quantità

che dalla temperatura del fumo prodotto. In ogni caso l'eccesso d'aria ha un ruolo importantissimo, perché maggiore aria si riscalda maggiori sono le perdite. Le perdite per calore sensibile si calcolano con la seguente formula di Hassenstein:

$$P_{cs} = K_s \times (T_f - T_a) / CO_2\%$$

dove:

( $T_f - T_a$ ) è la differenza di temperatura tra i fumi e l'aria comburente in °C,  $CO_2\%$  la percentuale di anidride carbonica in volume presente nei fumi secchi

$K_s$  un coefficiente che varia a seconda del combustibile usato e della percentuale di  $CO_2$  presente nei fumi (vedi tab. 8.1).

**Tab. 8.1** - Coefficiente  $K_s$

$CO_2\%$	$K_s$ GASOLIO	$K_s$ METANO
4	0,523	0,418
5	0,530	0,427
6	0,536	0,437
7	0,543	0,447
8	0,550	0,457
9	0,557	0,466
10	0,564	0,476
11	0,571	0,486
12	0,578	-
13	0,585	-
14	0,592	-

Si tenga anche presente che con temperatura dei fumi molto basse si ha il pericolo di formazione di condense acide corrosive. Bruciando infatti del combustibile contenente zolfo, nei prodotti della combustione, ricordiamo, si troveranno tracce di ossidi di zolfo ( $SO_2/SO_3$ ). questi reagendo con il vapor d'acqua formano vapori di acido solforico ( $H_2SO_4$ ). L'acido solforico rimane allo stato di vapore e viene espulso, finché la temperatura di essi rimane al di sopra di un certo **punto detto di rugiada acido**. Al di sotto di tale punto di rugiada, l' $H_2SO_4$  condensa, arrecando gravi danni alle membranature metalliche dell'impianto. Tali condensazioni sono da escludersi se si brucia metano (in quanto non contenente zolfo) oppure sono innocue se le caldaie sono opportunamente progettate per la condensazione dei fumi.

**Le perdite per irraggiamento e varie** sono dovute alla cessione di energia termica



attraverso le pareti della caldaia all'aria esterna e al pavimento su cui poggia la stessa. Fenomeni dovuti sostanzialmente ad un non buono isolamento del generatore di calore, dell'impianto e alle condizioni ambientali. Sono difficili da valutare, per cui vengono normalmente calcolate indirettamente per differenza a 100:

$$P_{iv} = 100 - \eta - P_{cs} - P_{cl}$$

Si intende **per bilancio termico** la valutazione globale del calore speso, del calore utilizzato e di quello perso. Il bilancio può essere fatto in due modi:

- **in maniera diretta**, misurando il calore speso, quello utilizzato, il calore sensibile ed eventualmente latente perso al camino e per differenza il calore perso per irraggiamento e cause varie;
- **in maniera indiretta**, misurando il calore speso, ed il calore perso al camino, valutando con dati sperimentali le altre perdite e calcolando per differenza il calore utilizzato.

Ad esempio bruciando gasolio con temperatura dei fumi di 170 °C, temperatura aria comburente di 30 °C, percentuale in volume di anidride carbonica del 13% e di ossido di carbonio del 0,3%, si hanno perdite per calore sensibile del 6,3% e per calore latente del 1,14%. Assumendo perdite per irraggiamento e varie dell'1%, si avrà un rendimento del 91,56%.

## 8.2 Il rendimento di combustione

Le norme relative al risparmio e all'efficienza energetica, da ultimo il recente D.P.R. n. 74/2013, Allegato B, prescrivono **un limite minimo del rendimento di combustione** per i generatori ad acqua calda.

Si devono ricordare le definizioni, già introdotte, di:

- **potenza termica al focolare** di un generatore di calore: il prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato; l'unità di misura utilizzata è il kW;
- **potenza termica convenzionale** di un generatore di calore, la potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino in regime di funzionamento continuo; l'unità di misura utilizzata è il kW;
- **potenza termica utile** di un generatore di calore, la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo al fluido termovettore; l'unità di misura utilizzata è il kW;
- **rendimento di combustione** o rendimento termico convenzionale, di un



generatore di calore, il rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare;

- **rendimento termico utile** di un generatore di calore, il rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare.

Il rendimento di combustione è maggiore del rendimento termico utile del generatore di calore, in quanto non tiene conto delle perdite per irraggiamento e varie, ma solo delle perdite nei fumi.

Il valore del rendimento di combustione, espresso in percentuale, dipende dall'anno di installazione del generatore e dalla potenza termica utile nominale  $P_n$  del generatore (in kW) e deve risultare almeno, per legge:

- per caldaie installate antecedentemente al 29/10/1993

$$\eta \geq 82 + 2 \text{ Log}P_n$$

- per caldaie installate dal 29/10/1993 fino al 31/12/1997

$$\eta \geq 84 + 2 \text{ Log}P_n$$

- per caldaie installate dall'1/1/1998 fino al 07/10/2005

Caldaie standard:

$$\eta \geq 84 + 2 \text{ Log}P_n$$

Caldaie a bassa temperatura:

$$\eta \geq 87,5 + 1,5 \text{ Log}P_n$$

Caldaie a gas a condensazione:

$$\eta \geq 91 + \text{ Log}P_n$$

- per caldaie installate dal 08/10/2005

Caldaie standard e a bassa temperatura:

$$\eta \geq 87 + 2 \text{ Log}P_n$$

Caldaie a gas a condensazione:

$$\eta \geq 89 + 2 \text{ Log}P_n$$

dove:

$\text{Log}P_n$  è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale espressa in kW e per valori di  $P_n$  superiori a 400 kW si applica comunque il limite massimo corrispondente a 400 kW.



In tabella 8.2 sono riportati i calcoli relativi alle formule citate per alcune potenze termiche nominali utili di caldaie standard.

**Tab. 8.2** - Valori del rendimento di combustione (caldaie standard)

P.N. POTENZA NOMINALE CALDAIA IN KW	RENDIMENTO (%) MINIMO CALDAIE INSTALLATE PRIMA DEL 29/10/1993	RENDIMENTO (%) MINIMO CALDAIE INSTALLATE DAL 29/10/1993 AL 31/12/1997	RENDIMENTO (%) MINIMO CALDAIE INSTALLATE DAL 01/01/1998 AL 07/10/2005	RENDIMENTO (%) MINIMO CALDAIE INSTALLATE DAL 08/10/2005
50	85,39	87,39	87,39	90,39
100	86	88	88	91
150	86,35	88,35	88,35	91,35
200	86,60	88,60	88,60	91,60
300	86,95	88,95	88,954	91,95
400	87,20	89,20	89,20	92,20

I generatori di calore per i quali, durante le operazioni di controllo, siano stati rilevati rendimenti di combustione, misurati alla massima potenza termica effettiva del focolare nelle condizioni di normale funzionamento, inferiori ai limiti fissati, non riconducibili a tali valori mediante operazioni di manutenzione, devono essere sostituiti in breve termine.

La norma UNI 10389 illustra le procedure per **la misurazione in opera del rendimento di combustione** dei generatori di calore degli impianti termici degli edifici.

La rilevazione del rendimento avviene una volta l'anno; per le centrali termiche dotate di generatore di calore o di generatori di calore con potenza termica nominale complessiva maggiore o uguale a 350 kW è inoltre prescritta una seconda determinazione del rendimento di combustione da effettuare normalmente alla metà del periodo di riscaldamento.

La misurazione avviene da parte di operatori qualificati, che redigono al termine del controllo della combustione il rapporto di prova dei fumi. Il prelievo dei prodotti della combustione e la misurazione della temperatura degli stessi devono essere eseguiti in corrispondenza di un apposito foro passante nel condotto di evacuazione dei prodotti della combustione (camino). Al termine della misurazione l'operatore deve chiudere stabilmente il foro, in modo da garantire la tenuta del condotto di evacuazione dei prodotti della combustione durante il normale funzionamento dell'impianto. La misurazione della temperatura dell'aria comburente deve essere effettuata nei pressi della bocca di aspirazione dell'aria nei



generatori di calore con bruciatore ad aria soffiata o nei pressi dell'ingresso dell'aria nei generatori di calore a gas con bruciatore atmosferico o con tiraggio naturale. L'apparecchiatura necessaria, gestita, tarata e verificata periodicamente, è composta da un cronometro, un termometro per la misurazione della temperatura dell'aria comburente (intervallo di misura -10 a +50 °C, incertezza di lettura  $\pm 2$  °C), un termometro per la misurazione della temperatura dei prodotti della combustione (intervallo di misura 0 a 500 °C, incertezza di lettura  $\pm 5$  °C), un termometro per la misurazione della temperatura del fluido in caldaia (intervallo di misura 0 a 200 °C, incertezza di lettura  $\pm 2$  °C), uno strumento di misura dell'indice di fumosità (scala di Bacharach), un analizzatore di ossigeno O<sub>2</sub> (campo di misura 0 a 21%, incertezza di lettura  $\pm 0,5$ ) oppure un analizzatore di anidride carbonica CO<sub>2</sub> (campo di misura 0 a 16%, incertezza di lettura  $\pm 0,5$ ) e un analizzatore di monossido di carbonio CO (campo di misura 0 a 4.000 ppm, incertezza di lettura  $\pm 20$  ppm fino a 400 ppm,  $\pm 5\%$  del valore misurato per concentrazioni maggiori, con 1 ppm=0,0001%). Per la misura delle grandezze riferite ai fumi e all'aria comburente si può utilizzare un unico apparecchio multifunzione, che può rilevare anche gli ossidi di azoto. La misurazione in opera del rendimento di combustione si effettua alla massima potenza termica effettiva del focolare nelle condizioni di normale funzionamento del generatore di calore rilevabile dalla temperatura di caldaia desunta dal prospetto di esercizio.

Devono essere rilevati i seguenti parametri:

- temperatura dei prodotti della combustione;
- temperatura dell'aria comburente;
- concentrazione di ossigeno o, in alternativa, di anidride carbonica, nei prodotti della combustione, resi secchi;
- concentrazione di ossido di carbonio nei prodotti della combustione, resi secchi e senza aggiunta di aria;
- indice di fumosità (per i soli generatori alimentati con combustibili liquidi).

Le misurazioni del contenuto di ossido di carbonio, di ossigeno (o di anidride carbonica) e della temperatura dei prodotti della combustione devono essere fatte nello stesso punto e, preferibilmente, mediante l'uso di un apparecchio multifunzione. La misurazione di ogni singolo parametro deve essere effettuata almeno tre volte, a intervalli di tempo eguali nel periodo di prova. Il valore misurato di ogni singolo parametro è ottenuto dalla media aritmetica delle tre misurazioni significative.

Il rendimento di combustione si calcola come segue. Si trova dapprima la

potenza termica del focolare. Per impianti termici alimentati a metano essa vale, rilevando dal contatore volumetrico la portata  $Q$  in volume del gas in  $m^3/h$  per almeno 2 minuti (120 secondi):

$$Pf = 9,60 \times Q, \text{ in kilowatt oppure } Pf = 8.250 \times Q, \text{ in kcal/h}$$

Per impianti termici alimentati a gasolio, leggendo la portata massima  $Q$  del combustibile in  $kg/h$  dalle tabelle o dalle curve fornite dal fabbricante dell'ugello del bruciatore, essa vale:

$$Pf = 11,872 \times Q, \text{ in kilowatt oppure } Pf = 10.210 \times Q, \text{ in kcal/h}$$

Successivamente si ricava la potenza termica percentuale persa al camino con le seguenti formule convenzionali:

$$Q_s = [A_1 / (21 - O_2) + B] \times (T_f - T_a)$$

se si misura la concentrazione di ossigeno

$$Q_s = [A_2 / CO_2 + B] \times (T_f - T_a)$$

Se si misura la concentrazione di anidride carbonica

dove:

$Q_s$  è la perdita ai fumi, in per cento;

$T_f$  è la temperatura dei fumi, in °C;

$T_a$  è la temperatura dell'aria comburente, in °C;

$O_2$  è la concentrazione di ossigeno nei fumi secchi, in % in volume;

$CO_2$  è la concentrazione di anidride carbonica nei fumi secchi, in % in volume;

$A_1, A_2, B$  sono i coefficienti dati nella tabella 8.3 per vari combustibili.

**Tab. 8.3** - Coefficienti per il calcolo del rendimento di combustione

Combustibile	$A_1$	$A_2$	B
Metano	0,66	0,38	0,010
Gasolio	0,68	0,50	0,007
GPL	0,63	0,42	0,008
Olio combustibile	0,68	0,52	0,007

Il rendimento di combustione del generatore, riferito alla potenza termica del focolare alla quale è stata effettuata la misurazione, è dato quindi da:

$$\eta = 100 - Q_s$$



mentre la potenza persa ai fumi vale  $Q_s \times P_f$  (in kW o kcal/h).

Tale valore di  $\eta$  va confrontato con i minimi riportati nella normativa, al fine di garantire al tempo stesso l'efficienza energetica, il consumo di combustibile, la sicurezza di funzionamento e il controllo delle emissioni.

Ad esempio una caldaia a camera aperta con tiraggio naturale, alimentata a metano con potenza termica focolare di 20 kW, di cui si siano misurati la temperatura fumi pari a 150 °C, la temperatura aria comburente pari a 20 °C e la CO<sub>2</sub> nei fumi secchi pari a 6,3%, ha un rendimento di combustione di:

$$Q_s = (0,38/6,3 + 0,01) \times (150 - 20) = 9,1\%$$

$$\eta = 100 - 9,1 = 90,9\%$$

Sapendo che la potenza termica utile (indicata dal fabbricante) vale 18 kW e dato che la potenza persa nei fumi è  $9,1 \times 20 / 100 = 1,82$  kW, le perdite per irraggiamento e varie saranno di 0,18 kW (0,9%) e il rendimento utile sarà di  $18 / 20 \times 100 = 90\%$ .

Tutto quanto detto vale per le caldaie non condensanti. **Nelle caldaie a condensazione** si deve considerare l'incremento di rendimento ET dovuto alla condensazione. Il fumo per restituire il calore latente di condensazione deve scendere sotto una determinata temperatura soglia detta "temperatura di rugiada", che dipende dal tipo di combustibile e dalla quantità di ossigeno nei fumi secchi (e quindi dall'indice d'aria  $n$ ). Ad esempio, con un ossigeno del 3,5% nei fumi (indice d'aria  $n=1,2$ ), la temperatura di rugiada per il metano vale 55,5 °C, per il butano vale 51,2 °C, per il GPL vale 51 °C, per il propano vale 50,4 °C e per il gasolio vale 48,7 °C.

Il rendimento di combustione si calcola quindi come:

$$\eta = 100 - Q_s + ET$$

dove:

$Q_s$  è la perdita calcolata come da caldaie non condensanti

$ET$  è l'incremento del rendimento di combustione dovuto dalla condensazione.

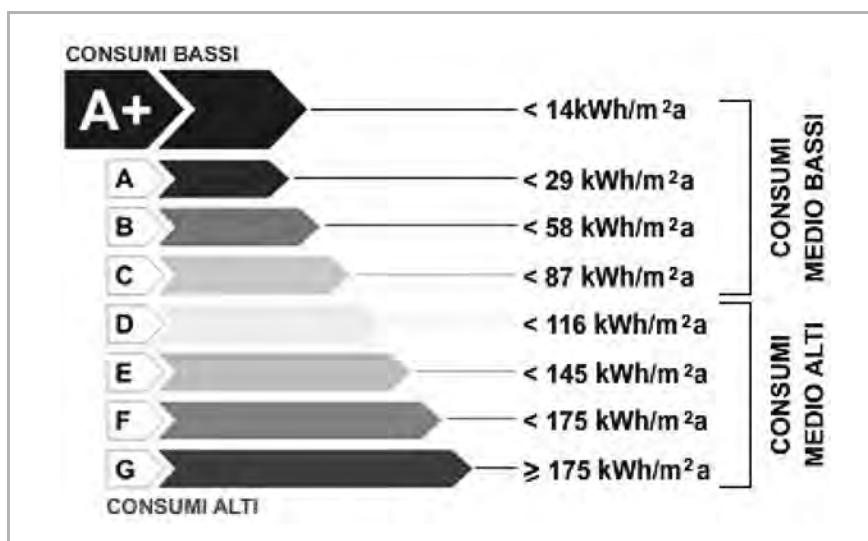
Solo quando effettuando l'analisi a regime si scende sotto le temperature di rugiada, il fumo condensa e si ha l'incremento ET, in caso contrario ET vale zero. Il calcolo di ET procede come segue, in riferimento alla combustione completa di 1 m<sup>3</sup> di metano o ad 1 kg di gasolio:

- si calcola l'indice d'aria  $n$ , con la formula  $n = 21 / (21 - O_2)$ ;
- si calcola il volume dei fumi secchi  $V_{fs}$ , con la formula  $V_{fs} = VF \times n$ , dove VF vale 8,52 m<sup>3</sup> per il metano e 10,41 m<sup>3</sup> per il gasolio;

- si calcola il volume dei fumi secchi effettivo  $V_{fseff}$ , corretto alla temperatura dei fumi  $t_f$  all'uscita dalla caldaia, con la formula  $V_{fseff} = V_{fs} \times (273 + t_f) / 273$ ;
- si calcola la massa dei fumi secchi effettiva  $M_{fseff}$ , con la formula  $M_{fseff} = V_{fseff} \times MV_f$ , dove  $MV_f$ , dipendente da  $t_f$ , vale ad esempio  $1,09242 \text{ kg/m}^3$  per  $t_f = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- si calcola il volume di aria comburente secca  $V_{as}$ , con la formula  $V_{as} = V_A \times n$ , dove  $V_A$  vale  $9,52 \text{ m}^3$  per il metano e  $11,09 \text{ m}^3$  per il gasolio;
- si calcola il volume di aria secca comburente effettiva  $V_{aseff}$ , alla temperatura dell'aria comburente  $t_a$ , con la formula  $V_{aseff} = V_{as} \times (273 + t_a) / 273$ ;
- si calcola la massa di aria secca comburente effettiva alla temperatura dell'aria comburente, con la formula  $M_{aseff} = V_{aseff} \times MV_a$ , dove  $MV_a$ , dipendente da  $t_a$ , vale ad esempio  $1,16549 \text{ kg/m}^3$  per  $t_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- si calcola l'acqua presente nell'aria comburente in ingresso con la formula  $AR = M_{aseff} \times X_a \times 0,5$ , assumendo convenzionalmente che l'umidità nell'aria comburente sia pari al 50% dell'umidità alla saturazione, dove  $X_a$ , dipendente da  $t_a$ , vale ad esempio  $0,02733 \text{ kgacqua/kgaria}$  per  $t_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- si calcola l'acqua presente nei fumi di combustione in uscita dalla caldaia con la formula  $AF = M_{fseff} \times X_f$ , dove  $X_f$ , dipendente da  $t_f$ , vale ad esempio  $0,08686 \text{ kgacqua/kgaria}$  per  $t_f = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- si calcola la quantità di acqua effettivamente condensata con la formula  $CD = AC + AR - AF$ , dove  $AC$  vale  $1,61 \text{ kg}$  di acqua per il metano e  $1,17 \text{ kg}$  per il gasolio;
- si calcola l'energia recuperata dall'acqua effettivamente condensata con la formula  $ER = CD \times H_{cond}$ , dove ad esempio  $H_{cond}$ , dipendente da  $t_f$ , vale  $2,383 \text{ MJ/kg}$  di condensa per  $t_f = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- si calcola l'incremento del rendimento di combustione dovuto alla condensazione, con la formula  $ET = (ER / PCI) \times 100$ , dove  $PCI$  vale  $35,90 \text{ MJ}$  per il metano e  $42,70 \text{ MJ}$  per il gasolio.

Lo sviluppo del flusso di calcolo di  $ET$  utilizza dati chimico fisici riportati in tabelle memorizzate negli strumenti utilizzati per l'analisi di combustione, che possono essere utilizzati sia con riferimento all'aria sia con riferimento ai prodotti della combustione con un grado di approssimazione accettabile. L'operatore quindi non ha necessità di applicare le formule di calcolo, perché è lo strumento multifunzione che fornisce i risultati.

Il valore del rendimento di combustione è importante per determinare successivamente il rendimento medio globale dell'impianto, anche ai fini della caratterizzazione energetica dell'edificio (vedi fig. 8.1). Infatti ogni edificio avrà una **classe energetica** (attestato di prestazione energetica) tanto migliore quanto più basso sarà il consumo annuale di energia (in kWh) per unità di superficie (in m<sup>2</sup>).



**Figura 8.1**  
Classi energetiche degli edifici

Fonte:  
[www.solimpr.it](http://www.solimpr.it)

### 8.3 Il controllo della combustione

Per verificare l'andamento della combustione si sintetizzano i seguenti controlli da eseguirsi da parte del conduttore, che vanno effettuati quando l'impianto è a regime, escludendo le fasi di avviamento.

L'osservazione dei fumi specie nella combustione di carboni ed oli combustibili può essere molto indicativa: fumi chiari, trasparenti invisibili significano buona combustione; viceversa fumi scuri, resi tali dalla presenza di fuliggine, cattiva combustione. Bruciando idrocarburi più leggeri o combustibili gassosi il colore dei fumi è meno significativo, perché si sviluppano in prevalenza incombusti gassosi; l'ossido di carbonio è incolore e la sua presenza non è rilevabile a vista. Fumi bianchi, lattescenti, indicano la presenza di vapore acqueo.

L'esame visivo della fiamma è molto importante: per gli oli combustibili deve essere molto luminosa, di colore giallo-bianco abbagliante; l'atmosfera attorno ad essa è limpida, ben visibile ogni punto del focolare. La fiamma è compatta,

di forma regolare, non provoca scintillii e riempie il focolare senza toccare le pareti. Viceversa, diminuendo l'aria, diventa rossastra, fumosa, scura.

La fiamma dei combustibili gassosi è generalmente azzurra, trasparente, meno luminosa. Con difetto d'aria diventa rossastra e "sporca le pentole" cose che avviene nelle cucine domestiche.

La temperatura dei fumi alla base del camino deve essere quella prevista dal funzionamento della caldaia. Non deve essere troppo bassa per evitare la formazione di condense acide e per non pregiudicare il tiraggio. Non troppo elevata per non aumentare la perdita per calore sensibile. Temperature eccessive sono causate da depositi sulle superfici di scambio termico, sovraccarico del focolare, tiraggio troppo forte. Temperature basse da cattiva combustione, presenza di troppa aria, camino di sezione eccessiva o mal isolato o con eccessiva inerzia termica.

L'andamento del tiraggio si controlla con il deprimometro, strumento che serve a misurare la depressione venuta a formarsi nel camino, rispetto alla pressione atmosferica. Il tiraggio è tanto più forte quanto più alto è il camino e quanto maggiore la differenza di temperatura tra i fumi e l'aria. L'analisi dei fumi è il sistema più preciso per controllare la combustione. Consiste nella rilevazione delle percentuali di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  ed  $\text{O}_2$  presenti nei fumi. Sapendo che la  $\text{CO}_2$  è il prodotto della combustione completa del carbonio, che il  $\text{CO}$  è il prodotto della combustione incompleta, che l' $\text{O}_2$  è quello dell'aria che non ha partecipato alla combustione, è evidente che basse percentuali di  $\text{CO}_2$  ed alte di  $\text{O}_2$  indicano un forte eccesso d'aria. Alte percentuali di  $\text{CO}_2$  e basse di  $\text{O}_2$  indicano basso eccesso di aria e, se non si trova  $\text{CO}$  nei fumi, questa è la combustione ottimale.

Le principali regolazioni effettuabili per una corretta condotta del fuoco sono:

- sull'aria comburente, aumentando e diminuendo l'apertura della serranda del ventilatore o della presa d'aria, il che equivale a fare entrare nel bruciatore una quantità di aria maggiore oppure minore;
- sulla depressione aprendo o chiudendo la serranda posta sulla condotta dei fumi, in modo da ottenere un giusto tiraggio.

In figura 8.2 sono riportati alcuni valori "storici" caratteristici dei fumi in uscita dai generatori di calore tradizionali per impianti termici civili, per avere una indicativamente una "buona combustione", tenendo conto che le miglione della tecnica stanno via via innalzando il rendimento di combustione.



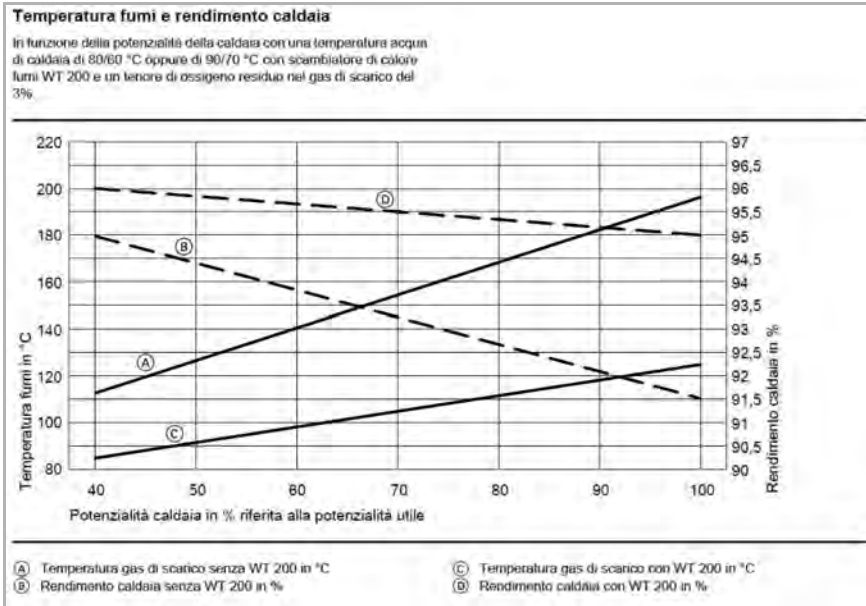
PARAMETRI DI COMBUSTIONE CONSIGLIATI								
Combustibile	CO <sub>2</sub> Teorico (%)	CO <sub>2</sub> Consigliato (%)	O <sub>2</sub> Consigliato	Emissioni valori massimi	Punto di rugiada	Temperatura fumi (°C)	Perdita per calore sensibile	Rendimento di combustione
Metano	11.7	9 ± 10	4.8 ± 3	CO < 1,000 ppm	60 ÷ 70	130 ÷ 150	9.4 ÷ 7.2	90.6 ÷ 92.8
GPL	13.9	11 ± 12	4.3 ± 2.8	CO < 1,000 ppm	60 ÷ 70	130 ÷ 150	8.4 ÷ 6.5	91.6 ÷ 93.5
Gasolio Zolfo < 0,3%	15.1	11.5 ± 13	4.9 ± 2.9	N <sup>2</sup> Bacharach max 1	± 130	180 ÷ 200	10.1 ÷ 8.2	89.9 ÷ 91.8
Olio comb. fluido 3 ÷ 5 °E a 50 °C	15.8	11 ± 12	6.2 ± 4.2	N <sup>2</sup> Bacharach max 6	± 130	180 ÷ 200	10.9 ÷ 8.8	89.1 ÷ 90.9
Olio comb. denso 15 ÷ 20 °E a 50 °C	16.2	11 ± 12.5	6.7 ± 4.7	N <sup>2</sup> Bacharach max 6	± 140	180 ÷ 200	10.9 ÷ 8.8	89.1 ÷ 91.2

(1) Relativa a veneratori di calore ad acqua calda.

Infine in figura 8.3 è riportato il legame rendimento caldaia/temperatura dei fumi in uscita dedotto da una moderna caldaia tradizionale ad inversione di fiamma gasolio/metano, la quale ha la possibilità di montare sui canali da fumo uno scambiatore di calore fumi/acqua (denominato WT 200), che recuperando una parte del calore dei fumi per darlo all'acqua di alimento, migliora il rendimento del generatore di calore.

**Figura 8.2**  
Parametri di combustione

Fonte:  
[www.cibunigas.it](http://www.cibunigas.it)



**Figura 8.3**  
Legame rendimento caldaia - temperatura dei fumi

Fonte:  
[www.wiessmann.com](http://www.wiessmann.com)



# QUESITI D'ESAME



Si presentano nel seguito 75 domande a risposta multipla, del tipo VERO/FALSO o UNA DI TRE, con le quali l'aspirante conduttore può testare, in prima battuta, il proprio grado di preparazione. In fondo alle domande è presente il correttore. La risposta corretta alle domande non garantisce il superamento della prova d'esame, che di norma si compone anche di una prova orale, a seconda delle modalità regionali di verifica dell'apprendimento.

## **Domanda n. 1: Che cosa rappresenta il rendimento? VERO/FALSO**

- La quantità percentuale di energia resa rispetto alle perdite
- Il rapporto fra l'energia fornita e l'energia utile
- Il rapporto fra la potenza fornita meno le perdite e la potenza fornita
- Il rapporto fra la potenza utile e la potenza fornita

## **Domanda n. 2 - Che cosa rappresenta la potenza utile di un generatore di calore? VERO/FALSO**

- La potenza utile di un generatore di calore è quella resa all'acqua (o al fluido vettore)
- La potenza utile di un generatore di calore è quella bruciata nel focolare dal combustibile
- La potenza utile di un generatore è ottenuta da quella al focolare diminuita dalle perdite per calore sensibile, latente ed irraggiamento
- La potenza utile di un generatore si ottiene sottraendo alla potenza al focolare le perdite

## **Domanda n. 3 - Che cosa rappresenta il rendimento? VERO/FALSO**

- La quantità percentuale di energia resa rispetto alle perdite
- Il rapporto fra l'energia utile e l'energia fornita
- Il rapporto fra la potenza utile e la potenza fornita
- Il rapporto fra la potenza fornita e la potenza utile

**Domanda n. 4 - L'aria è una miscela di gas: la sua composizione % in volume vale: UNA DI TRE**

- Ossigeno circa 21% Azoto circa 78% Anidride carbonica tracce Gas rari circa 0,9%
- Ossigeno 30% Azoto 50% Anidride carbonica 19% Gas rari tracce
- Ossigeno 78% Anidride carbonica 10% Gas rari 12%

**Domanda n. 5 - L'aria è una miscela di gas: la sua composizione % in peso vale: UNA DI TRE**

- Ossigeno circa 23% Azoto circa 75% Anidride carbonica tracce Gas rari circa 1,4%
- Ossigeno 30% Azoto 50% Anidride carbonica 19% Gas rari tracce
- Ossigeno 78% Anidride carbonica 10% Gas rari 12%

**Domanda n. 6 - L'aria è una miscela di gas: l'ossigeno presente in % in volume vale: UNA DI TRE**

- circa 23%
- circa 21%
- circa 32%

**Domanda n. 7 - Come influisce l'aumento di temperatura nel grado di viscosità di un fluido? UNA DI TRE**

- Nei liquidi aumentando la temperatura la viscosità aumenta
- Nei gas aumentando la temperatura la viscosità diminuisce
- Nei liquidi aumentando la temperatura la viscosità diminuisce

**Domanda n. 8 - Come si riduce la viscosità di un combustibile liquido? UNA DI TRE**

- Si diminuisce la temperatura del combustibile
- Si miscela con appositi solventi
- Si aumenta la temperatura del combustibile

**Domanda n. 9 - Che cos'è la viscosità? UNA DI TRE**

- È come la densità del fluido; più è denso e più è viscoso
- Rappresenta la resistenza allo scorrimento di un fluido