

Generatori di calore

Misurazione in opera del rendimento di combustione

1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma prescrive le procedure per la misurazione in opera del rendimento di combustione dei generatori di calore degli impianti termici degli edifici.

Essa si applica a tutti i generatori di calore con potenza termica nominale del focolare maggiore o uguale a 4 kW alimentati a combustibile gassoso e/o liquido, inseriti negli impianti destinati al riscaldamento degli ambienti, con o senza produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari, o alla sola produzione centralizzata di acqua calda per gli stessi usi.

Sono prescritte le seguenti procedure:

- misurazione in opera del rendimento di combustione di generatori di calore;
- misurazione in opera della concentrazione di monossido di carbonio nei prodotti della combustione;
- misurazione in opera dell'indice di fumosità (per i soli generatori alimentati con combustibili liquidi).

La presente norma non si applica a:

- impianti inseriti in cicli di processo;
- stufe, caminetti, radiatori individuali;
- apparecchi unifamiliari per produzione di acqua calda;
- generatori di calore alimentati a combustibile solido.

2. Riferimenti

UNI 4546: Misure e misurazioni - Termini e definizioni fondamentali

UNI CEI 70011: Guida per la presentazione dei risultati di prova

3. Definizioni e simboli

3.1 Definizioni

3.1.1 Rendimento di combustione: Rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare.

3.1.2 Potenza termica convenzionale: Potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino.

3.1.3 Potenza termica del focolare: Prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato per la portata di combustibile bruciato. Sinonimo di portata termica.

3.1.4 Valore nominale di un parametro: Valore dichiarato e garantito dal costruttore per il regime di funzionamento continuo, e riportato in targa e nel libretto di istruzioni.

3.1.5 Valore effettivo di un parametro: Valore ottenuto durante il normale funzionamento dell'impianto a seguito della eventuale regolazione effettuata dal responsabile dell'esercizio e manutenzione (proprietario o terzo da lui delegato), e riportato sul libretto di centrale o di impianto.

3.1.6 Valore misurato di un parametro: Valore rilevato durante un controllo della combustione.

3.1.7 Controllo della combustione: Insieme delle operazioni che un operatore deve effettuare per determinare il rendimento di combustione, l'indice di fumosità (per i soli combustibili liquidi) e la concentrazione di monossido di carbonio nei prodotti della combustione.

3.1.8 Operatore: Tecnico o manutentore qualificato, incaricato di eseguire il controllo della combustione dal responsabile per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto; oppure tecnico incaricato dalla competente autorità per l'esecuzione delle verifiche previste dalle vigenti disposizioni in materia.

3.1.9 Rapporto di prova: documento sul quale l'operatore deve riportare i risultati del controllo della combustione.

3.1.10 Libretto di centrale: documento a corredo di ogni impianto termico avente potenza termica nominale del focolare superiore o uguale a 35 kW, sul quale sono riportati, a cura del responsabile dell'impianto, i dati relativi all'impianto e ai suoi componenti, al suo esercizio e alla sua manutenzione.

3.1.11 Libretto di impianto: documento a corredo di ogni impianto termico avente potenza termica nominale del focolare inferiore a 35 kW, sul quale sono riportati, a cura del responsabile dell'impianto, i dati relativi all'impianto e ai suoi componenti, al suo esercizio e alla sua manutenzione.

3.2 Simboli e unità di misura

Prospetto I - Simboli e unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
Rendimento di combustione	η	%
Potenza termica del focolare	Pf	W
Potenza termica convenzionale	Pc	W
Temperatura dei prodotti della combustione	Tf	K, °C *
Temperatura dell'aria comburente	Ta	K, °C *
Temperatura del fluido termovettore in mandata	Tm	K, °C *
Concentrazione di ossigeno nei prodotti della combustione	O ₂	% volume
Concentrazione di anidride carbonica nei prodotti della combustione	CO ₂	% volume
Concentrazione di anidride carbonica nei prodotti della combustione secchi teorici	CO ₂ t	% volume
Concentrazione di monossido di carbonio nei prodotti della combustione	CO	% volume
Portata del combustibile liquido	Gc	Kg/s
Portata del combustibile gassoso	qv	m ³ /s
Indice di fumosità	B	-

* Nel prosieguo della norma le misure di temperatura sono espresse in gradi centigradi (°C), unità di misura comunemente usata nella pratica e nell'apparecchiatura termotecnica.

4. Operazioni preliminari

All'operatore devono essere resi disponibili per la consultazione i seguenti documenti:

- libretto di centrale o di impianto;
- libretti d'uso e di manutenzione del generatore di calore.

Deve inoltre assicurarsi di poter eseguire il controllo nel rispetto della propria e dell'altrui sicurezza e senza causare guasti o malfunzionamento all'impianto, anche facendo riferimento a documentazioni tecniche, schemi e certificati relativi all'impianto stesso e ai suoi componenti e accessori, qualora siano previsti dalle disposizioni vigenti in materia.

4.1 Procedure operative particolari

A seconda che il controllo della combustione venga eseguito da un operatore incaricato dal responsabile per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto o da un operatore incaricato da competente autorità per gli adempimenti di legge, devono essere seguite le seguenti procedure.

4.1.1 Operatori incaricati dal responsabile per l'esercizio e la manutenzione

- a) l'operatore deve effettuare il controllo sul generatore regolato alla potenza termica del focolare effettiva;
- b) le misure ottenute e le operazioni effettuate devono essere riportate sul libretto di centrale o di impianto.

4.1.2 Operatori incaricati dalla competente autorità

- a) L'operatore deve effettuare la misurazione alla potenza termica del focolare effettiva; qualora essa non coincida con quella nominale, l'operatore deve effettuare comunque la misurazione, riferendo sul rapporto di prova della differenza;
- b) l'operatore deve effettuare la misurazione in presenza del proprietario dell'impianto (il proprietario si identifica, nel caso di impianti autonomi, con l'occupante l'unità immobiliare; nel caso di impianti condominiali, con l'amministratore dello stabile.) o di persona da lui delegata; in nessun caso deve alterare, anche mediante semplice regolazione, il funzionamento dell'impianto, né effettuare alcuna operazione ad esclusione di quelle previste dalla presente norma;
- c) se l'operatore è impossibilitato ad effettuare le misurazioni deve segnalarlo sul rapporto di prova, specificandone il motivo, senza procedere ulteriormente;
- d) se l'operatore è in grado di effettuare le misurazioni, ma con procedura difforme da quella indicata nella presente norma, deve portare a termine il controllo, segnalando sul rapporto di prova i motivi di difformità;
- e) l'operatore deve impiegare un apparecchio di misura in grado di stampare la data, l'ora della misurazione, i parametri rilevati e un codice identificativo dello stesso apparecchio;
- f) il rapporto di prova deve essere redatto conformemente a quanto indicato in 7 della presente norma in almeno tre copie identiche; una copia deve essere trattenuta dall'operatore, una dal responsabile dell'impianto, la terza deve essere inviata dall'operatore all'Ente che ha disposto la verifica;
- g) l'operatore deve astenersi dall'inserire nel rapporto di prova consigli o raccomandazioni formulati sulla base dei risultati di prova.

5. Misurazione in opera del rendimento di combustione

5.1 Prelievo dei prodotti della combustione

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.

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.

Il foro deve essere praticato a cura del responsabile per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto dal tecnico o manutentore abilitato, a meno che sul generatore di calore sia già stato predisposto un apposito foro, o vi sia rimasto a seguito di altre misurazioni effettuate in ottemperanza a prescrizioni precedenti, conforme a quanto indicato dalla presente norma.

Se il condotto di evacuazione dei prodotti della combustione è parte integrante del generatore di calore, il foro può essere praticato solo su autorizzazione del fabbricante del generatore, che deve rilasciare le opportune istruzioni in merito.

Il foro deve essere situato a una distanza dall'uscita del generatore di calore pari a due volte il diametro interno del condotto di evacuazione dei prodotti della combustione. Se all'interno di questa distanza il condotto presenta una curva, il foro deve essere situato a una distanza dalla fine della curva pari a un diametro interno del condotto di evacuazione dei prodotti della combustione. Se a valle del generatore sono disposti sistemi di recupero del calore, il foro deve essere situato sul tratto di condotto di evacuazione dei prodotti della combustione in uscita da questi sistemi.

Nel caso di generatori di calore a gas con bruciatore atmosferico che dispongono di dispositivo rompitiraggio-antivento il foro deve essere situato a valle del dispositivo a una distanza pari a due diametri del condotto di evacuazione dei prodotti della combustione.

Se il collegamento fra il generatore di calore e il camino o canna fumaria non consente, per l'assenza di tratti rettilinei o la loro eccessiva brevità, il rispetto delle distanze sotto indicate, e il fabbricante del generatore non ha predisposto o indicato un apposito punto di prelievo nel circuito fumi, il controllo della combustione non può essere effettuato.

5.2 Misura della temperatura dell'aria comburente

La misurazione della temperatura dell'aria comburente deve essere effettuata:

- a) nei pressi della bocca di aspirazione dell'aria nei generatori di calore con bruciatore ad aria soffiata;
- b) nei pressi dell'ingresso dell'aria nei generatori di calore a gas con bruciatore ad aria aspirata, camera di combustione aperta e tiraggio naturale o con ventilatore sulla linea di scarico dei prodotti della combustione;

c) in un punto opportuno del condotto di alimentazione dell'aria comburente nei generatori di calore a gas con camera di combustione stagna, a tiraggio naturale o con ventilatore sulla linea di scarico dei prodotti della combustione. Il punto deve essere predisposto dal fabbricante del generatore di calore o praticato, a cura del responsabile per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto, dal tecnico o manutentore abilitato, seguendo le indicazioni che il fabbricante deve fornire in proposito. Al termine della misurazione l'operatore deve chiudere stabilmente il foro, in modo da garantire la tenuta del condotto.

5.3 Apparecchiatura

Nota 1 - Prima di dare inizio a una misurazione l'operatore deve accertarsi che lo strumento utilizzato sia nelle idonee condizioni previste dal fabbricante e riportate nelle istruzioni per l'uso.

Nota 2 - Gli strumenti di cui in 5.3.2, 5.3.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7 possono essere sostituiti da un unico apparecchio multifunzione.

Nota 3 - Gli strumenti da 5.3.2 a 5.3.7 devono essere gestiti, tarati e verificati periodicamente, in conformità alle istruzioni che devono essere fornite dal costruttore, in modo da garantire la riferibilità della misura ai campioni nazionali del Sistema Nazionale di Taratura (SNT).

Nota 4 - L'operatore, salvo diverse indicazioni contenute nella presente norma, dovrà effettuare le misurazioni seguendo, per ciascun strumento, le istruzioni e le avvertenze riportate dal costruttore sul libretto d'uso.

5.3.1 Cronometro

5.3.2 Termometro per la misurazione della temperatura dell'aria comburente (intervallo di misura -10 a +50°C, incertezza di lettura +/-2°C).

5.3.3 Termometro per la misurazione della temperatura dei prodotti della combustione (intervallo di misura 0 a 500°C, incertezza di lettura +/-5°C).

5.3.4 Termometro per la misurazione della temperatura del fluido in caldaia (intervallo di misura 0 a 200°C, incertezza di lettura +/-2°C).

5.3.5 Strumento di misura dell'indice di fumosità

5.3.6 Analizzatore di ossigeno O₂ (campo di misura 0 a 21%, incertezza di lettura +/-0,5); **oppure analizzatore di anidride carbonica CO₂** (campo di misura 0 a 16%, incertezza di lettura +/-0,5).

5.3.7 Analizzatore di monossido di carbonio CO (campo di misura 0 a 4000 ppm, incertezza di lettura +/-20 ppm fino a 400 ppm²), +/-5% del valore misurato per concentrazioni maggiori).

5.4 Condizioni di misurazione

Ogni misurazione deve essere eseguita quando il generatore di calore si trova nello stato di regime alla potenza termica per la quale tale misurazione è prevista. Raggiunto lo stato di regime l'operatore deve rilevare la temperatura del fluido in mandata dal generatore di calore, utilizzando l'apposito pozzetto per i generatori di calore con potenza termica del focolare nominale maggiore di 35 kW o rilevandola dal termometro di caldaia per gli altri generatori. Tale valore deve essere indicato sul rapporto di prova. 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. Misurazioni a potenze termiche ridotte possono essere effettuate quando richieste. Qualora non sia possibile, anche escludendo il termostato ambiente, raggiungere lo stato di regime alla massima potenza termica del focolare effettiva per un periodo di tempo sufficiente e effettuare il controllo della combustione, se il generatore è di tipo combinato lo si fa funzionare in produzione di acqua calda sanitaria; il rendimento ottenuto deve essere riferito alla potenza termica del focolare del generatore durante la produzione di acqua calda sanitaria. Nel caso in cui il generatore abbia solo la funzione riscaldamento, il controllo della combustione va effettuato alla potenza termica del focolare ridotta o minima modulata e il rendimento ottenuto deve essere riferito a tale potenza.

5.5 Grandezze e misurazioni

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;
- concentrazione di ossido di carbonio nei prodotti della combustione;
- 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.

L'operatore deve evitare l'ingresso di aria dal foro durante la prova, in quanto la misurazione della temperatura e delle concentrazioni potrebbero venire alterate rispettivamente dall'ingresso di un fluido più freddo e dalla conseguente diluizione dei prodotti della combustione.

La linea di trasporto del campione prelevato dalla sonda all'apparecchio analizzatore deve essere, compatibilmente con le condizioni di misurazione, il più possibile corta, a tenuta, e deve garantire per quanto possibile che i prodotti della combustione arrivino all'apparecchio senza che avvengano durante il percorso reazioni chimiche o fenomeni fisici in grado di variarne le concentrazioni o di alterare la misurazione. Il termometro e la sonda di prelievo devono essere introdotti nel condotto di evacuazione dei prodotti della combustione a una profondità tale da posizionare il bulbo o l'elemento sensibile in una zona molto prossima all'asse del condotto.

5.5.1 Modalità di misurazione dell'indice di fumosità (solo per impianti alimentati con combustibili liquidi)

La misurazione dell'indice di fumosità si effettua con un apposito strumento in grado di fornire un risultato esprimibile nella scala di Bacharach. Ogni misura deve essere il risultato di tre singole misurazioni; qualora al termine di una di esse il campione di carta da filtro risultasse anche parzialmente bruciato o umido per effetto della condensa, la misurazione deve essere ripetuta. La prova si ritiene superata se almeno due delle tre misurazioni forniscono risultati non superiori a quello limite.

5.5.2 Risultati

La misurazione di ogni singolo parametro deve essere effettuata almeno tre volte, a intervalli di tempo eguali nel periodo di prova ritenuto necessario dall'operatore, e ogni volta almeno 120 s (2 min) dopo l'inizio del prelievo. La durata della prova e il numero di misurazioni effettuate per ogni parametro possono essere aumentati a giudizio dell'operatore qualora riscontri misurazioni anomale o valori non significativi. Il valore misurato di ogni singolo parametro è ottenuto dalla media aritmetica delle prime tre misurazioni significative. Eventuali misurazioni anomale non devono essere prese in considerazione per la determinazione del valore misurato; tuttavia, se a giudizio dell'operatore sono riconducibili alle condizioni di esercizio dell'impianto, ne deve fare menzione nel rapporto di controllo.

5.6 Verifica della potenza termica del focolare

La verifica della potenza termica del focolare si effettua come segue.

5.6.1 Impianti termici alimentati a combustibile gassoso

Se l'impianto è dotato di contatore volumetrico, si rileva la portata in volume in metri cubi/ora e la si moltiplica per i seguenti fattori convenzionali:

a) gas naturale

9,60 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilowatt

8.250 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilocalorie/ora

b) gas di petrolio liquefatti (GPL)

31,4 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilowatt

27.000 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilocalorie/ora

Se l'impianto è alimentato con gas manifatturato, l'operatore deve chiedere i parametri necessari alla verifica direttamente all'azienda erogatrice. La portata in volume si ricava rilevando dal contatore, quando il generatore di calore è a regime, il volume di gas erogato in almeno 120 s (2 min.) Se l'impianto non è dotato di contatore volumetrico o di altro sistema di misura della portata si assume come potenza termica del focolare quella dichiarata dal costruttore.

5.6.2. Impianti termici alimentati a combustibile liquido

Note la portata nominale dell'ugello e la pressione di polverizzazione, si ricava la portata massica in kilogrammi/ora dalle tabelle o dalle curve fornite dal fabbricante dell'ugello e la si moltiplica per i seguenti fattori convenzionali:

a) gasolio

11,872 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilowatt

10.210 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilocalorie/ora

- b) olio combustibile
 11,477 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilowatt
 9.870 per ottenere la potenza termica del focolare, in kilocalorie/ora

6. Calcolo del rendimento di combustione

La potenza termica persa al camino si ricava con le seguenti formule convenzionali:

$$Q_s = (A_1/(21-O_2) + B) \cdot (T_f - T_a)$$

nel caso di misurazione della concentrazione dell'ossigeno nei prodotti della combustione

$$Q_s = (A_2/CO_2 + B) \cdot (T_f - T_a)$$

nel caso di misurazione della concentrazione dell'anidride carbonica nei prodotti della combustione

dove:

- Q_s è la perdita ai fumi, in per cento;
 T_f è la temperatura dei fumi, in gradi centigradi;
 T_a è la temperatura dell'aria comburente, in gradi centigradi;
 O_2 è la concentrazione di ossigeno nei fumi secchi, in per cento in volume;
 CO_2 è la concentrazione di anidride carbonica nei fumi secchi, in per cento in volume;
 A_1, A_2, B sono i coefficienti, dati dal prospetto II, per i diversi combustibili.

Prospetto II - Coefficienti per il calcolo del rendimento di combustione

Il valore di Q_s ottenuto deve essere arrotondato alla prima cifra decimale.

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

$$\eta = 100 - Q_s$$

Considerata l'incertezza di misura, legata alle incertezze relative agli strumenti di misura e alla lettura dei parametri misurati (vedere UNI 4546), il risultato deve essere indicato con un'incertezza di +/- 2.

A ₁	A ₂	B	Combustibile
0,66	0,38	0,010	Gas naturale
0,63	0,42	0,008	GPL
0,68	0,50	0,007	Gasolio
0,68	0,52	0,007	Oli combustibili

6.1 Valori massimi consentiti di CO e indice di fumosità

Il valore rilevato di CO deve essere riportato alla condizione di prodotti della combustione secchi e senz'aria moltiplicando il valore misurato per:

$21/(21 - O_2)$ se è stata rilevata la concentrazione di ossigeno nei prodotti della combustione;

CO_2t/CO_2 se è stata rilevata la concentrazione di anidride carbonica nei prodotti della combustione.

I valori convenzionali di CO_2t da inserire nella formula sono riportati nel prospetto III, in funzione dei diversi combustibili.

Prospetto III - Contenuto teorico di CO₂ nei fumi secchi

Se la concentrazione di CO riportata alla condizione di prodotti della combustione secchi senz'aria risulta maggiore di 0,1% (1 000 ppm), e non è possibile ricondurlo al di sotto di questo valore mediante l'intervento del conduttore o del manutentore, l'esito del controllo della combustione è da considerarsi negativo, a prescin-

Combustibile	CO ₂ t
Gas naturale	11,7
GPL	13,9
Gasolio	15,1
Olio combustibile	15,7

dere dal valore misurato del rendimento di combustione.

Lo stesso dicasi, nel caso di generatori di calore alimentati con combustibile liquido, se l'indice di fumosità riferito alla scala di Bacharach, risulta maggiore di 2 per il gasolio e maggiore di 6 per l'olio combustibile.

7. Rapporto di prova

La compilazione del rapporto di prova deve essere eseguita secondo le linee guida indicate nella UNI CEI 70011; il rapporto, redatto con precisione e in modo da evitare equivoci e interpretazioni errate, deve contenere i risultati di tutte le misurazioni effettuate dall'operatore e le informazioni essenziali affinché il controllo possa essere ripetuto nelle medesime condizioni.

In particolare, il rapporto di prova deve contenere:

- i dati identificativi dell'operatore;
- i dati identificativi dell'impianto sottoposto a controllo e del suo responsabile;
- il riferimento della presente norma;
- i dati identificativi degli strumenti di prova;
- i risultati di prova;
- informazioni supplementari che, a giudizio dell'operatore, abbiano una relazione con i contenuti tecnici del rapporto e i suoi possibili usi;
- data di esecuzione del controllo;
- firme leggibili dell'operatore e del responsabile dell'impianto o della persona da lui delegata.