

## SOMMARIO

<b>PRESENTAZIONE</b>	5
<b>1. COMBUSTIONE DELLE BIOMASSE SOLIDE</b>	7
1.1 Termini e concetti di base	7
1.2 Processo di combustione	11
1.3 Calcolo della combustione	13
1.3.1 Reazioni principali	14
1.3.2 Fabbisogno d'aria	14
1.3.2.1 Richiesta d'aria stechiometrica (minima)	14
1.3.2.2 Fabbisogno d'aria effettivo	14
1.3.3 Calcolo della quantità dei gas di scarico della combustione	15
1.3.4 Biocombustibile e rendimento del generatore	16
1.3.5 Esempio di calcolo pratico	16
1.4 Requisiti tecnico-costruttivi degli apparecchi	18
1.5 Differenze funzionali tra generatori manuali e automatici	19
<b>2. APPARECCHI DOMESTICI MANUALI E AUTOMATICI</b>	21
2.1 Principi di funzionamento dei focolari a carico manuale	21
2.1.1 Focolare a fiamma trasversale	21
2.1.2 Focolare a fiamma superiore	21
2.1.3 Focolare a fiamma inferiore	23
2.2 Apparecchi domestici manuali ad aria	25
2.2.1 Camini chiusi	26
2.2.2 Stufe	27
2.2.2.1 Componenti e funzionamento di una moderna stufa a legna	27
2.2.2.2 Linee guida alla scelta della stufa a legna	29
2.2.2.3 Componenti a corredo e utili accessori	31
2.2.2.4 Evoluzioni tecnologiche delle stufe a legna	31
2.2.3 Cucine	33
2.3 Apparecchi domestici manuali ad acqua	34
2.3.1 Termocucine	34

2.3.2 Termocamini e termosufe	35
2.3.3 Corretta accensione di un apparecchio manuale	36
2.4 Apparecchi domestici automatici	38
2.4.1 Stufe a pellet ad aria	38
2.4.2 Termostufe a pellet	39
2.5 Principali requisiti di sicurezza dei locali di installazione	40
<b>3. CALDAIE MANUALI E AUTOMATICHE</b>	<b>41</b>
3.1 Caldaie manuali a legna	41
3.1.1 Funzionamento	41
3.1.2 Dispositivi di sicurezza	42
3.1.3 Campi di applicazione	43
3.1.4 Caricamento della caldaia	43
3.1.5 Tiraggio forzato	44
3.1.6 Scambiatore di calore	44
3.1.7 Regolazione	45
3.1.8 Caldaie a pieno carico (a potenza non regolabile)	45
3.1.9 Caldaie a potenza regolabile	46
3.1.10 Caldaie a potenza e combustione regolabili	46
3.2 Caldaie a caricamento automatico	47
3.2.1 Tipologie di focolari	47
3.2.2 Caldaie sottoalimentate	49
3.2.3 Caldaie ad alimentazione laterale	49
3.2.3.1 Caldaie a griglia fissa	50
3.2.3.2 Caldaie a griglia mobile	51
3.2.4 Caldaie con focolare per caduta	52
3.2.4.1 Cippato calibrato (P8, M20) e cubettato	52
3.2.5 Componenti aggiuntive e combinazione con altre fonti	53
3.2.5.1 Scambiatore di calore e condensazione	53
3.2.5.2 Combinazione con altre fonti di calore	53
3.2.6 Sistemi d'estrazione e d'alimentazione del focolare	54
3.2.7.1 Estrattori meccanici	56
3.2.7.2 Estrazione dal silo con fondo inclinato (pellet)	56
3.2.7.3 Estrattore con molle a balestra o braccio articolato	57
3.2.7.4 Estrattore a coclea rotativa e conico	58
3.2.7.5 Estrattore a rastrelli	58
3.2.7.6 Sistemi d'alimentazione	59
3.2.8 Fornitura, stoccaggio e logistica del cippato	59
3.2.8.1 Linee guida per la configurazione del sistema estrazione-carico-focolare	61
3.2.9 Requisiti per la fornitura, lo stoccaggio e la logistica del pellet	62

3.2.9.1 Fornitura	62
3.2.9.2 Stoccaggio	64
3.2.9.3 Silo a sacco	64
3.2.9.4 Depositi con fondo a pareti inclinate	64
3.2.9.5 Serbatoi sotterranei	66
3.2.9.6 Formazione di CO	67
3.2.10 Sistemi di sicurezza	71
3.2.11 Sistemi di regolazione	73
<b>4. COLLEGAMENTI IDRAULICI</b>	<b>74</b>
4.1 Simbologia	75
4.2 Costruzione della rete idraulica	76
4.3 Varianti di base della distribuzione	77
4.4 Circuiti di distribuzione all'utenza	78
4.4.1 Calcolo della potenza	78
4.4.2 Differenza di temperatura $\Delta T$	78
4.4.3 Tipi di circuiti	79
4.4.3.1 Circuiti a portata variabile	79
4.4.3.2 Circuiti a portata costante	80
4.4.4 Riepilogo delle caratteristiche idrauliche dei circuiti	83
4.5 Dimensionamento della rete di distribuzione	84
4.5.1 Dimensionamento della pompa di circolazione	85
4.5.1.1 Criteri per la corretta scelta della pompa	86
4.5.2 Dimensionamento delle valvole di regolazione	87
4.5.2.1 Autorità della valvola di regolazione	88
4.5.3 Circuito anticondensa	90
4.6 Installazione dell'accumulatore	90
4.6.1 Funzionamento e varianti	93
4.6.2 Dimensionamento dell'accumulatore	94
4.6.3 Integrazione dell'accumulatore nel circuito idraulico	97
4.6.4 Collegamento di un impianto solare termico	99
4.7 Vaso di espansione chiuso negli impianti a biomasse	101
4.7.1 Vantaggi del vaso di espansione chiuso	101
4.7.2 Riferimenti normativi	102
4.7.2.1 Apparecchi domestici < 35 kW (temperatura del fluido vettore $\leq 110$ °C)	102
4.7.2.2 Caldaie a biomasse > 35 kW (temperatura del fluido vettore $\leq 110$ °C)	102
4.7.3 Una recente precisazione di INAIL-ex ISPESL	103
4.7.4 Prescrizioni di sicurezza della UNI EN 303-5:2012	103
4.7.5 Esempi applicativi	104

<b>5. MINIRETI DI TELERISCALDAMENTO</b>	107
5.1 Corretto dimensionamento della rete	107
5.2 Tubazioni	109
5.2.2 Posa in opera	110
5.3 Fornitura di ACS nelle minireti	110
6. Valutazione finanziaria dell'investimento	113
6.1 Costi fissi	113
6.2 Costi variabili	114
6.3 Calcolo del risparmio sul combustibile precedente	115
6.4 Flusso di cassa e indicatori finanziari	115
<b>7. PRESTAZIONI TECNICO-AMBIENTALI DI APPARECCHI E CALDAIE</b>	119
7.1 Rendimento termico	119
7.1.1 Rendimento degli apparecchi domestici	119
7.1.2 Rendimento delle caldaie centralizzate	120
7.1.3 Evoluzione del rendimento	122
7.2 Emissioni	122
7.2.1 Composizione e impatto sulla salute	122
7.2.2 Fattori di conversione	124
7.2.3 Emissioni degli apparecchi domestici	124
7.2.4 Fattori di emissione delle caldaie	127
7.2.5 Livelli di tossicità del particolato nei moderni generatori	131
7.2.5.1 Citotossicità del PM da combustione: gli studi svizzeri	132
7.2.5.2 Effetti sulla salute del PM da combustione: gli studi austro-finlandesi	133
<b>8. NORMATIVA GIURIDICA</b>	137
8.1 Autorizzazioni e procedure amministrative	138
8.2 Installazione	144
8.3 Conduzione, controllo e manutenzione	145
<b>9. NORMATIVA TECNICA</b>	151
9.1 Caldaie	151
9.2 Apparecchi domestici	154
<b>ALLEGATI</b>	156
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	158

## PRESENTAZIONE

Il mercato degli apparecchi e delle caldaie alimentati a biocombustibili di origine agroforestale ha registrato in Italia dati di crescita importanti negli ultimi anni. Nel 2012 le vendite sono state di circa 300.000 apparecchi domestici e 20.000 caldaie. Il pellet è il vero driver di questo trend positivo, con tassi di crescita a due cifre in entrambi i segmenti.

Il parco apparecchi e caldaie domestiche installato a scala nazionale, secondo le nostre ultime stime, è composto da circa 2 milioni di apparecchi a pellet, 8 milioni di apparecchi a legna e poco meno di 0,8 milioni di caldaie domestiche (<35 kW). Nell'ambito civile e industriale (>35 kW <1 MW), negli ultimi anni sono state installate circa 3.000 caldaie all'anno per un totale installato di oltre 20.000 unità, mentre i teleriscaldamenti hanno superato quota 200.

Una buona parte degli apparecchi e delle caldaie installate, in particolare a scala domestica, hanno età superiore a 10-15 anni, bassi livelli di rendimento ed elevati fattori di emissione e sono spesso caratterizzati da errori più o meno grossolani d'installazione, eseguita da operatori non adeguatamente preparati.

Nel prossimo futuro, quindi, oltre a puntare alla realizzazione di nuovi impianti di elevato livello prestazionale, sarà sempre più importante il risanamento e la riqualificazione energetica degli impianti a biomasse esistenti, interventi questi che per altro godono già di interessanti incentivi.

La riqualificazione degli impianti, se eseguita perseguendo il massimo livello qualitativo dell'intervento, dalla scelta del generatore alla sua installazione e manutenzione, incluso l'impianto fumario, le componenti idrauliche ed elettriche e le opere edili, offre la possibilità di ottenere significative quote di risparmio di energia primaria.

Questo manuale intende contribuire ad aumentare il livello delle conoscenze tecniche sugli apparecchi domestici e le caldaie alimentate da biocombustibili solidi. La prima parte è dedicata alla descrizione del processo di combustione e all'evoluzione costruttiva dei focolari, sia manuali sia automatici. Segue la disanima dei principali tipi di apparecchi e caldaie, nell'ottica di fornire una sorta di linee guida al riconoscimento dei principi di funzionamento e alle caratteristiche tecnico-costruttive che differenziano i moderni genera-

tori di calore a biomasse. Nell'ambito delle caldaie automatiche, sono riportate informazioni tecniche e di sicurezza per la corretta realizzazione dei depositi del biocombustibile, in forma di pellet e di cippato.

All'idraulica è dedicato il capitolo 4, con particolare attenzione alle componenti e gli aspetti progettuali fondamentali per gli impianti a biocombustibili solidi, con un cenno anche all'integrazione del solare termico.

Progettazione e installazione corrette sono alla base di un impianto di successo, in particolare di quelli più impegnativi sotto il profilo degli investimenti e caratterizzati da una lunga vita tecnica. Per questo è stato inserito un capitolo dedicato alla metodologia di valutazione di fattibilità degli investimenti, con valori unitari indicativi per l'imputazione dei costi e il calcolo degli indici finanziari per la verifica preliminare della redditività dell'investimento.

Il capitolo 7 riporta un approfondimento sul delicato tema delle emissioni, con un confronto tra i generatori tradizionali e quelli moderni e più innovativi e dei focus sul potenziale delle misure primarie per la futura riduzione dei livelli quantitativi e degli effetti di tossicità delle emissioni di particolato.

Il manuale si chiude con una panoramica sulle principali normative giuridiche e tecniche.

*Valter Francescato, direttore tecnico AIEL*